Hirnszintigraphie mit 99 m-Technetium

eine Übersichtsstatistik aus 2000 Hirnszintigrammen

Anna-Maria Möhler

1972

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546014_0066

Aus der II. Medizinischen Klinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. E. Buchborn

HIRNSZINTIGRAPHIE MIT 99m-TECHNETIUM

- eine Übersichtsstatistik aus 2000 Hirnszintigrammen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Anna-Maria Möhler
aus
Augsburg
1971

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Priv.Doz. Dr. J. Eigler

Mitberichterstatter: Prof. Dr. E. Buchborn

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 25. Juli 1972

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

DISSERTATIONS – und FOTODRUCK FRANK oHG
8000 München 2 · Gabelsbergerstr. 15 · Tel.: 2 80 90 90

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Technetium^{99m}	1
2.1.	Historischer Überblick	1
2.2.	Physikalische Eigenschaften	3
2.3.	Gewinnung zur Untersuchung	4
2.4.	Biologisches Verhalten	7
2.5.	Strahlenbelastung	9
3.	Messung der Radioaktivität	10
3.1.	Historischer Überblick	10
3.2.	Beschreibung des Scanners	12
4.	Technik der Darstellung	15
5.	Szintigraphische Darstellung	16
5.1.	Pathophysiologische Grundlagen	16
5.2.	Das normale Hirnszintigramm	17
5.3.	Das pathologische Hirnszintigramm	21
5.3.1.	Das Szintigramm bei Tumoren	21
5.3.2.	Das Szintigramm bei Metastasen	25
5.3.3.	Das Szintigramm bei Gefäßprozessen	28
5.3.4.	Das Szintigramm bei Entzündungen	31
5.3.5.	Das Szintigramm bei Schädel-Hirn-Traumen	33
6.	Ergebnisse	36
6.1.	Patientengut	36
6.2.	Auswertung der Szintigramme	36

7. Diskussion 41
7.1. Allgemeine Bemerkungen 41
7.1.1. Zum Isotop 41
7.1.2. Zur Methodik 43
7.2. Differentialdiagnose auf Grund des Scanbefundes 44
7.3. Ursachen von Fehldiagnosen 50
7.3.1. Falsch negative Ergebnisse 50
7.3.2. Falsch positive Ergebnisse 52
7.4. Die Leistungsfähigkeit der Szintigraphie in der Klinik 54
7.4.1. Das Szintigramm im Vergleich mit anderen speziellen neurologischen Untersuchungsmethoden 54
7.4.2. Das Szintigramm in der Verlaufskontrolle 57
8. Zusammenfassung 65
9. Literaturverzeichnis 66

1. Einleitung

Seit August 1967 wird in der Röntgenabteilung der II. Medizinischen Klinik der Universität München zur Diagnostik von intrakraniellen Veränderungen, wie Tumoren, Gefäßprozessen, Entzündungen und traumatischen Läsionen, die Hirnszintigraphie mit Technetium^{99m}-Pertechnetat neben anderen neuroradiologischen Methoden herangezogen. In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß durch das Isotop und die Methodik der Darstellung die Effektivität gewährleistet wird, die zum Erfolg und zur klinischen Aussagekraft dieser Untersuchung führt.

2. Technetium^{99m}

2.1. Historischer Überblick

Moore und Mitarbeiter (69, 70) versuchten 1948 als Erste, intracerebrale Geschwülste nachzuweisen. Sie benutzten dazu den Farbstoff Fluoreszin, dessen hohe und konstante Affinität zu Tumoren durch Danckwortt (23) bekannt geworden war, etikettierten ihn mit 131-J und synthetisierten daraus Dijod (131-J-)fluoreszin.1951 gingen Moore und Mitarbeiter (71) zur Verwendung von 131-J-Humanserumalbumin (131-J-HSA) über, da das Fluoreszin besonders in hohen Dosen eine gewisse Toxizität besaß und rasch ausgeschieden wurde. Diese Verbindung wird auch heute noch routinemäßig zur Hirndiagnostik benutzt. In den letzten 10 Jahren wurde jedoch noch eine Reihe weiterer radioaktiver Substanzen

gefunden, die sich für die Hirnszintigraphie als geeignet erwiesen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die heute gebräuchlichen Radioisotope.

Radionuklid	Photonenenergie [MeV]	phys. T 1/2	Verbindung	übl. Aktivität [µCi]	Scanning nach der Injektion
^{203}Hg	0,28	45 d	Chlormerodrin	700	4 - 15 h
^{197}Hg	0,077	2,7 d	Chlormerodrin	700	4 - 15 h
^{99m}Tc	0,14	6 h	$^{99m}TcO_4$ (Pertechnetat)	5000-10000	30 min
^{113m}In	0,393	1,7 h	^{113m}In Chelat oder DTPA	5000-10000	30 min
^{131}J	0,364	8,1 d	^{131}J-HSA	300-500	24 - 48 h

Tabelle 1: Radiopharmaka für die Hirnszintigraphie (nach 27)

Am häufigsten wird heute ^{99m}Technetium verwendet. Das Element Nr. 43 Technetium wurde 1937 von Segré und Perrier (nach 83) als Reaktionsprodukt der Bestrahlung von Molybdän mit Deuteronen entdeckt. Als erstes künstlich geschaffenes Element wurde ihm der Name Technetium (teknikos = künstlich) gegeben. Zusammen mit Rhenium und Mangan bildet es die Gruppe VII des Periodensystems. 1964 wurde Technetium durch Harper (38, 39, 40) in die Medizin eingeführt, der die besondere Eignung des Nuklids zur Szintigraphie von Schilddrüse, Gehirn und Leber hervorhob. Weitere Publikationen über die Eignung von ^{99m}Tc für die Gehirn-

szintigraphie folgten von McAffee et al. (63, 64), Witcofski (117), Beck, Charleston und Lathrop (38) und Quinn (90).

2.2. Physikalische Eigenschaften

^{99m}Tc besitzt eine Halbwertszeit (HWZ) von 6 Stunden. Es entsteht beim Zerfall von Mo^{99} (HWZ = 67 h) als Zwischenprodukt und emittiert beim isomeren Übergang eine Gammastrahlung von 0, 140 MeV (99 %) und 0, 142 MeV (1 %) (Strominger et al., 1958, nach 40). Das dabei entstehende Technetium^{99} ist ein reiner Gammastrahler (0, 282 MeV) mit einer HWZ von 2,1 x 10^5 Jahren. Dabei beträgt die Aktivität 3 x 10^{-5} μCi Tc^{99} pro mCi Tc^{99m} bzw.

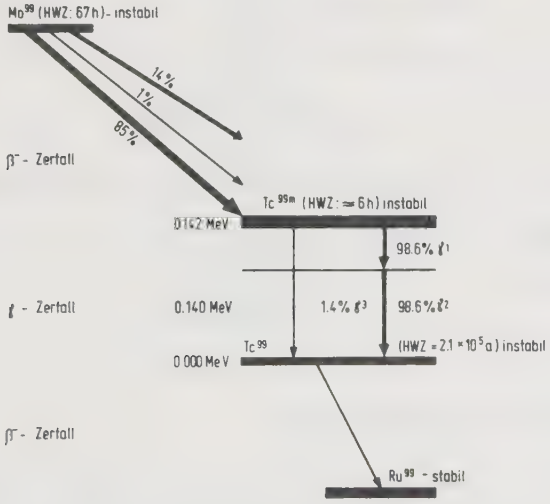


Abbildung 1: Zerfallsschema Mo^{99} - Tc^{99m} (nach 27)

3×10^{-5} µCi pro mCi Mo^{99}. (8) Sie kann daher vernachlässigt werden. (100) Als Folgekern entsteht das stabile Ruthenium. (Abb. 1)

Beim Tc^{99m}-Zerfall entstehen durch inneren Photoeffekt (Konversionskoeffizient e^-/γ = 0,095) noch Konversions- und Anger-Elektronen mit einer mittleren Energie von 0,014 MeV pro Zerfall. (100, 101)

Die Halbwertsschicht der -Strahlung im Gewebe beträgt 4,6 cm, in Blei etwa 0,028 cm und in NaJ 0,24 cm. Daraus folgt, daß die Absorptionsverluste im Gewebe in erträglichen Grenzen bleiben, so daß eine gute szintigraphische Auflösung auch tieferliegender Bezirke möglich ist. (8) Außerdem kann der Detektorkristall sehr dünn sein, da bereits eine Dicke von 1 cm für maximale Empfindlichkeit und Energieauflösung genügt. Hierdurch wird der Nulleffekt, der dem Kristallvolumen proportional ist, beträchtlich reduziert. Spezialkollimatoren mit zahlreichen Bohrungen und dünnen Wänden steigern einerseits die Empfindlichkeit des Detektorsystems, andererseits das szintigraphische Auflösungsvermögen. (38)

2.3. Gewinnung zur Untersuchung

Da das Technetium^{99m} nur eine HWZ von 6 Stunden hat, ist es unrentabel, das zur Untersuchung benötigte Isotop direkt zu beziehen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, es täglich frisch aus

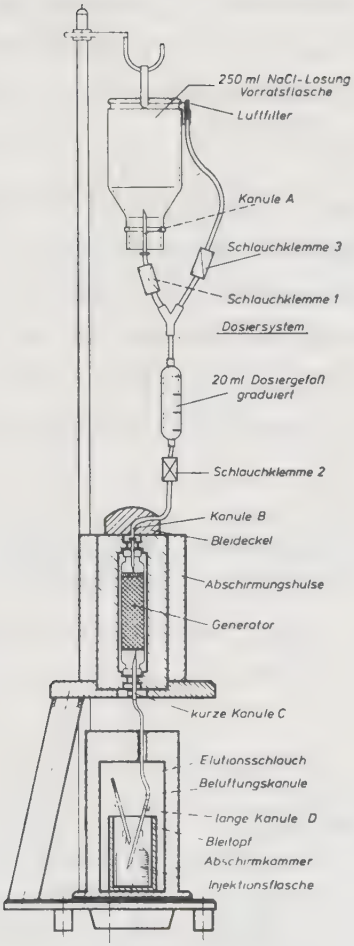


Abbildung 2: Technetium-99m-Generator der Firma Hoechst AG (43)

einer Chromatographiesäule zu gewinnen, in der Molybdän^{99} (HWZ = 67 Stunden) an Aluminiumoxyd adsorbiert ist. Dieses sog. "Melk-system" beziehen wir wöchentlich von der Firma Farbwerke Hoechst AG, Frankfurt/Main. (Abb. 2)

Im allgemeinen eluiert man mit 20 ml physiologischer Kochsalzlösung, um eine optimale Elutionsausbeute zu erhalten. Die Verwendung von mehr als 20 ml NaCl bringt keinen Vorteil, da die Aktivitätskonzentration durch das größere Volumen absinkt. (43) Die Elutionsausbeute liegt bei 80 - 100 %, d. h. das Eluat enthält ungefähr 8 - 10 mCi Tc^{99m} in Form von Pertechnetat pro 10 mCi Mo^{99}.

Nach 23 Stunden hat sich das Gleichgewicht zwischen Mutter- und Tochternuklid erneut eingestellt. Dann kann der Elutionsvorgang wiederholt werden. Nach 6 Stunden liegen dagegen nur 50 % des Maximalwertes vor. (Abb. 3)

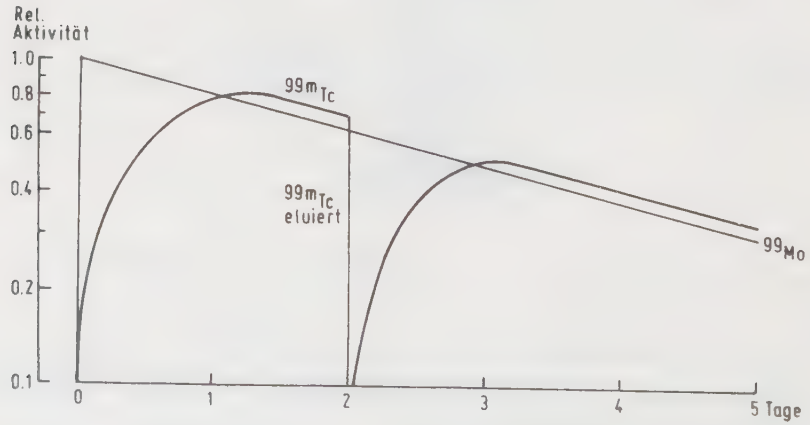


Abbildung 3: Nachbildung von Tc^{99m} aus Mo^{99} (nach 8)

Die zur Berechnung der Aktivität nötigen Daten kann man aus Tabellen entnehmen. (43) Dabei ist es wichtig, die Abfallsquote für Molybdän pro Tag und die von Technetium wegen der kürzeren HWZ pro Stunde zu wissen.

Die radiochemische Reinheit der Säulen ist außerordentlich hoch. Bei Langzeitmessungen in einem Szintillationszähler mit Bohrlochkristall wurde eine von länger lebenden Nukliden herrührende γ-Aktivität zwischen 10^{-6} und 5×10^{-4} der Ausgangsaktivität gefunden. (8) Die stärkste radiochemische Verunreinigung (5×10^{-4}) beobachteten Börner und Moll (8) dann, wenn sich ein geringer Niederschlag von Aluminiumoxyd im Eluat befand. Diese Beimengung identifizierten sie auf Grund der HWZ als Mo^{99}. Harper (39) stellte noch eine meßbare Aktivität von Ru^{103} fest.

2.4. Biologisches Verhalten

Technetium^{99m} als Pertechnetat ($^{99m}TcO_4^-$) gehört zu einer Gruppe von Ionen (ReO_4^-, ClO_4^-, BO_3F^-, J^-, At^-), die in ihrem Molekülaufbau die gleiche sphärische und tetraedrische Symmetrie aufweisen und sich auch im Körper ähnlich verhalten. (Wolff und Maurey, 1963; nach 40) Besonders groß ist die Übereinstimmung mit Jodid. Nach i.v.-Verabreichung verteilt sich Pertechnetat im Extrazellulärraum und wird vor allem in der Schilddrüse, den Speicheldrüsen und der Magenschleimhaut konzentriert. (40, 63) Ebenso wie Jodid (40, 53) wird es im Magen wahrscheinlich durch die Schleimdrüsen sezerniert, nicht aber durch die säurebilden-

den Zellen. (64) Blutuntersuchungen ergaben, daß 25 - 35 % des Pertechnetatgehaltes in der Erythrozytenmasse zu finden sind, der Rest im Plasma. (25) In der Schilddrüse wird Pertechnetat ähnlich wie Jodid gerafft und durch Perchlorat aus der Drüse verdrängt; weiterhin kann die ^{99m}Tc-Pertechnetat-Aufnahme der Schilddrüse durch TSH stimuliert und durch Trijodthyronin gebremst werden. (nach 8) Im Gegensatz zu Jodid verläßt Pertechnetat jedoch wieder die Schilddrüse ohne eine Bindung einzugehen. (121) Im Gehirn reichert sich Technetium^{99m} bei intakter Blut-Hirn-Schranke nicht an. Dagegen speichert der umgebende Schädel das Technetium sehr gut. Dies wird in Abb. 4 deutlich.

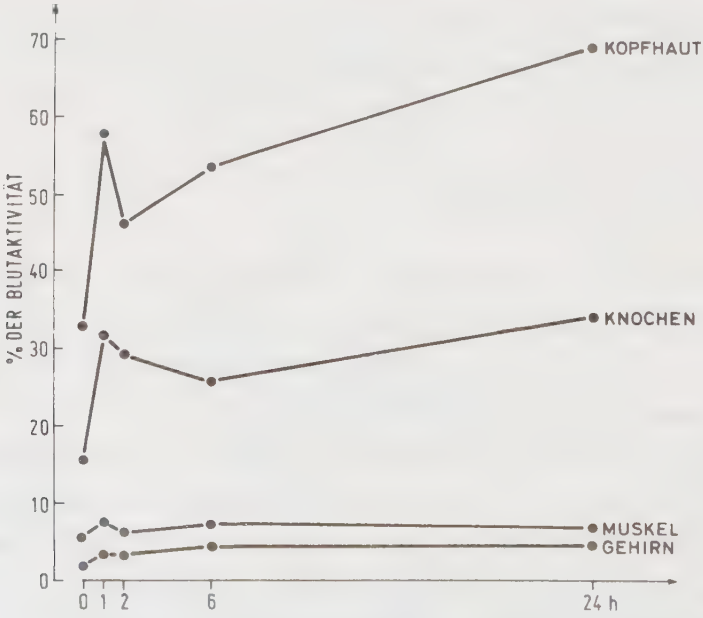


Abbildung 4: Verhältnis der Blutkonzentration zur Gewebskonzentration des Schädels von ^{99m}Tc-Pertechnetat (78)

Die Ausscheidung von Technetium erfolgt am ersten Tag vorwiegend durch die Niere. (40) Dabei verhält sich die Urinaktivitätskurve spiegelbildlich zur Blutaktivitätskurve. Dem flach abfallenden Blutprofil steht ein Anstieg des Urinprofils von gleichem Neigungswinkel gegenüber. (25) Am 3. Tag werden 10 - 15 % durch den Stuhl ausgeschieden. Durchschnittlich sind nach 1,8 Tagen 50 % des injizierten Technetiums aus dem Körper verschwunden. (40)

2.5. Strahlenbelastung

Bei einer Injektion von 10 mCi Tc^{99m} betragen die durchschnittlichen Werte (38, 64, 112):

Ganzkörper	0,12 rad
Schilddrüse	1 rad
Magenschleimhaut	0,8 rad
Leber	0,7 rad
Dickdarm	1 rad

(1 rad = 100 erg/g)

Die Strahlenbelastung durch das Tochterprodukt Tc^{99} ist zu vernachlässigen; sie beträgt nur 10^{-6} µCi für eine Dosis von 10 mCi Tc^{99m}. Wegen der außerordentlich niedrigen Belastung ist die Untersuchung des Gehirns auch bei Schwangeren und Kindern in begrenztem Umfang vertretbar.

Um die Strahlenbelastung für die Schilddrüse geringer zu halten, kann man sie ca. 1 Stunde vor der Untersuchung mit Perchlorat

blockieren. Außerdem wird durch Perchlorat auch die Konzentration des Isotops in der Magenschleimhaut herabgesetzt. (101) Dadurch wird jedoch die oft notwendige schnelle Diagnose verzögert. Da die Strahlenbelastung auch ohne Perchloratvorbehandlung geringer ist als bei den anderen gebräuchlichen Isotopen, erweist sich eine Prämedikation mit Perchlorat meist als überflüssig.

Für den Untersucher ist die Strahlenbelastung der Hände bei der Präparation und Injektion von Tc^{99m} am größten. Dabei stellte Neill (76) eine Spitzenbelastung von 10 mrem/mCi x min fest. Jedoch betonen Keeling und Bryant (49), daß bei Injektion von 10 mCi $^{99m}TcO_4$ die Strahlenbelastung für den Untersucher selbst dann nicht gefährlich ist, wenn er bei unruhigen Patienten für die Untersuchungsdauer den Kopf halten muß. Sie liegt dann in der Größenordnung von 12 mrad/Std.

3. Messung der Radioaktivität

3.1. Historischer Überblick

Die ersten Lokalisationsuntersuchungen mit Radioisotopen in der Diagnostik von Hirnerkrankungen führte Moore (70) 1948 mit einem Geiger-Müller-Zählrohr durch. Durch manuelle Bewegungen des Zählrohres wurde die Strahlung der inkorporierten radioaktiven Substanz gemessen und an jedem Ort digital aufgezeichnet. Später wurden dazu auch Szintillationszähler benutzt. (77)

1956 beschrieb Planiol (84, 85, 86) die vergleichende Messung der Radioaktivität über symmetrischen Punkten beider Hemisphären und deren Registrierung. Diese Methode wurde weiter verbessert und eignet sich besonders zur Artdiagnostik von Tumoren. In Deutschland wurde die Kartographie von Wende (113, 114) ausgebaut.

Die ersten automatischen abtastenden Detektoren und Scanner wurden 1951 von Cassen et al. (17) und fast gleichzeitig von Mayneord et al. (62) beschrieben. Das Prinzip der Szintigraphie mit bewegten Detektoren wurde seither kaum verändert. Jedoch wurde das Verfahren technisch verbessert. Für die Datenverarbeitung wurden verschiedene kontrastbeeinflussende Methoden (22, 55) und die Farbregistrierung eingeführt. Verbesserte Kollimatoren wurden beschrieben (2, 65), wobei man von Kollimatoren mit zylindrischer Bohrung zu Vielkanalkollimatoren überging. Durch größere Kristalle wurde die Empfindlichkeit des Detektors erhöht. 1963 brachte Anger (1, 3) eine Szintillationskamera heraus, die mit einem großen, feststehendem Szintillationskristall ausgerüstet ist, der es gestattet, einen der Größe des Kristalls entsprechenden Bezirk insgesamt und somit kurzfristig zu erfassen.

Heute wird meist noch der automatisch abtastende Scanner benutzt. Wir fertigten unsere Szintigramme mit dem Magnascanner Nr. V der Picker X-Ray Corporation, Cleveland, Ohio/USA an. Im folgenden wird das Prinzip dieses Apparates kurz erklärt. (nach 27, 54, 77)

3.2. Beschreibung des Scanners

In Abb. 5 ist schematisch der Aufbau eines modernen Scanners wiedergegeben.

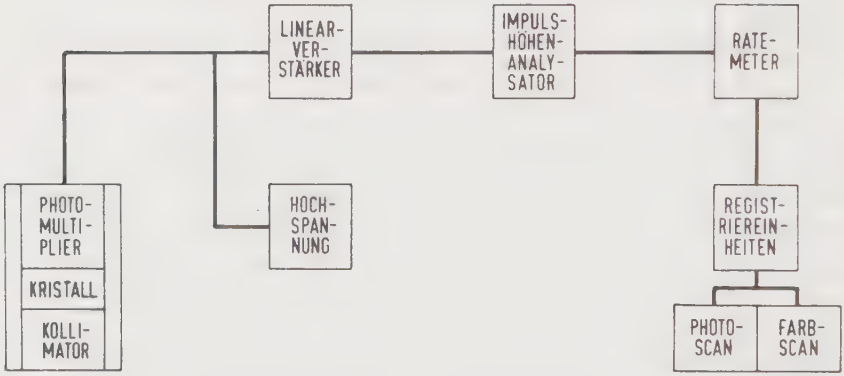


Abbildung 5: Schematischer Aufbau eines Scanners

Vor den Szintillationskristall ist ein Kollimator gesetzt, der zur Anhebung der Abbildungsschärfe in Abhängigkeit von Größe und Form seiner Öffnungen ein mehr oder weniger enges definiertes Strahlenbündel ausblendet. Wir benutzten einen grobfokussierenden Kollimator mit 19 Bohrungen, der es gestattet, einen relativ großen Raumwinkel einzublenden und eine relativ große Meßschichtdicke zu erfassen.

Die durch den Kollimator aufgenommenen γ-Quanten treffen auf einem anorganischen Kristall auf, der durch die hochenergetischen Elektronen ionisiert wird und einen Lichtblitz aussendet. Meist besteht dieser Kristall aus Natriumjodid, da dessen Dichte so groß ist, daß die Wahrscheinlichkeit der Erzeugung von Ionen beim

Auftreffen eines γ-Strahles sehr hoch ist. Unser Scanner ist ausgerüstet mit einem thalliumaktivierten NaJ-Kristall von der Größe 5 x 2 inches (1 inch = 25,4 mm).

Die Lichtmenge, die erzeugt wird, ist ungefähr proportional dem Energieverlust, den der Strahl im Kristall erleidet. Da die Lichtblitze zu schwach sind, um mit den üblichen Lichtdetektoren gemessen zu werden, müssen sie in ein meßbares elektrisches Signal umgewandelt werden. Dies geschieht in einer Photomultiplier-Röhre (Sekundärelektronenvervielfacher). Sie besitzt eine Photokathode, die Elektronen emittiert, wenn sie vom Licht getroffen wird. Die Zahl der Elektronen ist proportional zum einfallenden Licht. Die Elektronen werden in der Röhre durch eine Anzahl von Vervielfacherstufen (Dynoden) weiter verstärkt.

Die Zahl der im Photomultiplier erzeugten Elektronen ist zu gering, um einen Zählmechanismus auszulösen. Daher ist ein Linearverstärker eingebaut, der alle Signale um den gleichen Faktor vergrößert, so daß die Ausgangsimpulse immer noch proportional der Strahlung im Kristall sind. Der Linearverstärker ist mit einem Impulshöhenanalysator gekoppelt, der die ankommenden Impulse entsprechend der Photoenergie des verwendeten Isotopes filtert, so daß nur diejenigen gezählt werden, die zwischen zwei vorgegebenen Größen liegen. Dadurch werden Nulleffekt und Streustrahlung unterhalb und oberhalb der Peakenergie von der Messung ausgeschlossen.

Die Zählung der Impulse erfolgt durch ein Ratemeter, das keine Anzeige für jedes einzelne Signal liefert, sondern die Zahl der

Impulse während eines gewissen Zeitraumes ermittelt, dessen Länge von der Zeitkonstanten abhängt. Das Ratemeter hat die Fähigkeit, ein elektrisches Signal zu übermitteln, das der angezeigten Impulsrate proportional ist. Durch dieses Signal wird die Information laufend registriert.

Die Registriersysteme sind durch eine Achse starr mit dem Szintillationszähler verbunden und werden daher synchron mit ihm zeilenförmig über das zu untersuchende Gebiet bewegt. Dadurch erfolgt eine exakte topographische Darstellung des Impulsverteilungsmusters auf dem Röntgenfilm und in Farbabbildung auf Papier.

Die Registriersysteme können mit verschiedenen kontrastbeeinflussenden Verfahren gesteuert werden, wie Background-Cutoff, Dot-Factor, Spannung der Lichtquelle, Film-Density, Range-Differential, Geschwindigkeit des Scannings und Zeilenabstand.

Die Farbregistrierung ermöglicht eine begrenzte quantitative Aussage über die Speicherung des Nuklids. Jeder der 8 Farben entsprechen 12,5 % der Gesamtimpulsrate. Außerdem ist auch die Strichdichte proportional der Impulsrate.

Die Darstellung des Szintigramms auf dem Röntgenfilm ist kontrastreicher als die Registrierung auf Papier. Durch geeignete Kontrasteinstellung lassen sich sehr hohe, andererseits aber auch sehr geringe statistisch noch signifikante Impulsdichteunterschiede sichtbar machen.

4. Technik der Darstellung

Dem Patienten werden zunächst dem Körpergewicht entsprechend 5 - 10 mCi Technetium^{99m}-Pertechnetat in die Kubitalvene injiziert. 20 - 30 Minuten nach der Injektion beginnt der Untersuchungsvorgang. Es werden mindestens zwei Szintigramme aufgenommen: die Frontalansicht und die Ansicht von einer Seite. Bei besonderen Indikationen können auch noch weitere Ebenen eingestellt werden.

Zur Fixation des Schädels kann man das Lagerungskissen der Firma Picker benutzen, ein mit kleinkörnigem Kunststoff gefülltes Gummikissen, in dem mit Hilfe einer Vakuumpumpe ein Unterdruck erzeugt wird, so daß das Kunststoffmaterial aneinandergepreßt wird und das Kissen in der gegebenen Form erstarrt. Es haben sich auch der Kopfform angepaßte Schaumstoffschalen, wie sie bei der Carotis-Angiographie verwendet werden, zur Fixierung bewährt.

Bei optimaler Dosierung liegt das Maximum über dem Sinus sagittalis superior zwischen 16 000 und 12 000 Imp./min. Das Minimum wird über den Großhirnhemisphären aufgesucht und ist in der Größenordnung von 12 000 - 8 000 Imp./min. Entsprechend den Maximum-Minimum-Werten werden die Spannung der Lichtquelle (Max. etwa 1 000 V), Film-Density, Farbabstufung, Geschwindigkeit (60 - 100 cm/min), Background-Cutoff (10 % über Min.) und Range-Differential (Differenz von Max. und Min. in %) eingestellt. Der Zeilenabstand beträgt 1,5 - 2,5 cm. Der Energiebereich von Tc^{99m} liegt zwischen 110 und 170 KeV.

Das Szintigramm in einer Ebene dauert 15 - 20 Minuten. Im günstigsten Fall ist die ganze Untersuchung in ca. 45 Minuten beendet.

5. Szintigraphische Darstellung

5.1. Patophysiologische Grundlagen

Radioaktive Substanzen, besonders Technetium, werden im gesunden Gehirn nur verschwindend gering gespeichert: 1 : 10 bis 1 : 30 gegenüber anderen Organen. (60) Dies liegt am Vorhandensein der Blut-Hirn-Schranke (BHS), deren morphologisches Substrat das Kapillarendothel, die Basalmembran und die perivasale Gliascheide darstellen. (5) Die gesamte komplexe Struktur der BHS ist jedoch bis jetzt noch nicht geklärt. Die Wirksamkeit der BHS beruht auf dem Fehlen eines Extrazellulärraumes. Zwischen Gefäßen und Nervengewebe findet sich nur der in Zellverbänden übliche Interzellulärspalt von 175 Å, der nicht als Diffusionsraum gelten kann und 5 - 15 % des Gesamtvolumens der Hirnsubstanz ausmacht. (37, 80)

Bei pathologischen Prozessen beträgt der Anreicherungsquotient für ^{99m}Tc-Pertechnetat im Tierversuch nach McAffee et al. (64) und Quinn (90) 22 : 1. Da die Ursache der unterschiedlichen Anreicherung im gesunden und pathologisch veränderten Gehirn eng mit der BHS in Verbindung steht, ist sie noch weitgehend ungeklärt. Viele Untersuchungen darüber wurden gemacht und Theorien

aufgestellt, besonders von Bakay et al. (4, 5), Hossmann (46), Jackson et al. (47), Mundinger et al. (74, 75), Raimondi (92), Riccabona und Scharfetter (93), Tator (105) u. a.

Nach Bakay (5) dürften für die Anreicherung radioaktiver Substanzen in Tumoren mehrere Faktoren, wie Vaskularisation und Blutgehalt des Tumorgewebes, Veränderung der Gefäßpermeabilität, Größe des Extrazellulärraumes und metabolische Vorgänge der Tumorzelle eine Rolle spielen.

Bei Hirninfarkten ist die positive Impulsanreicherung nur temporär. Dabei fällt nach Meinung von Cohn und Soiderer (19) der Zeitpunkt des Positivwerdens eines Scans zusammen mit dem Einsprossen neuer Kapillaren in das Infarktgebiet. Die BHS dieser neuen, unreifen Gefäße ist noch nicht voll ausgebildet, wie dies auch bei fetalen Hirngefäßen der Fall ist. Das Zeichen für eine volle Ausreifung dieser Gefäße und die Entwicklung einer intakten BHS ist ein wieder normal gewordener Szintigraphiebefund.

5.2. Das normale Hirnszintigramm

Eine detaillierte Beschreibung des normalen Hirnszintigramms mit ^{99m}Tc-Pertechnetat gaben Webber (112) sowie Schneider und Prévôt (95).

In der Frontalansicht (Abb. 6) fällt die charakteristische Kontur der Kalotte auf, die in Kontrast zu dem aktivitätsarmen Schädelinnenraum steht. Diese Kontur wird hervorgerufen durch

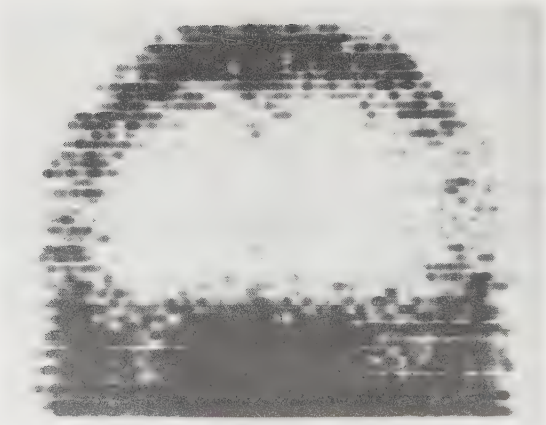


Abbildung 6: Normales Szintigramm - frontale Ansicht

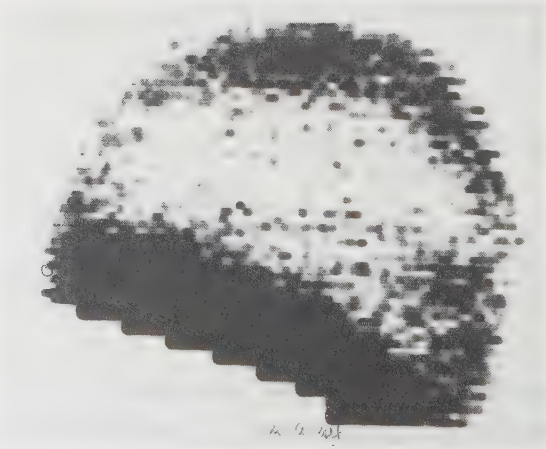


Abbildung 7: Normales Szintigramm - laterale Ansicht

die Anreicherung des Technetiums in der Schädelmuskulatur, den Diploevenen, den Meningen und den zugehörigen Blutgefäßen. Die Schwärzung ist am intensivsten am Scheitelpunkt, wo der Sinus sagittalis superior orthograd getroffen wird. Von diesem Bereich abwärts laufend sind in leichtem Grauton die Gefäße des Spatium interhemisphaericum dargestellt, vor allem die Aa. cerebri anteriores und ihre Äste. Die starke Aktivitätsanreicherung an der Basis resultiert medial von der Schleimhaut der Stirnhöhlen und der Siebbeinzellen, nach lateral zu von den Orbitarändern und temporal vom M. temporalis, der den Kalottenbogen nach medial verbreitert.

In der Seitenansicht (Abb. 7) sehen wir zunächst wieder die charakteristische Kalottenstruktur. Die Verbreiterung in Richtung zum äußeren Gehörgang entspricht dem größeren Volumen des Sinus sagittalis superior in diesem Gebiet. Nach kaudal werden der Sinus transversus, der Confluens sinuum und die Nackenmuskulatur durch intensive Schwärzung sichtbar. Die frontobasale Impulsvermehrung entspricht der Schläfenmuskulatur und den Strukturen der vorderen Schädelbasis.

Bei der occipitalen Aufnahme (Abb. 8) fällt im Vergleich zur Frontalansicht die stärkere Schwärzung des Spatium interhemisphaericum auf. Diese wird hervorgerufen durch das im Sinus sagittalis angereicherte Technetium. Die Verdickung nach kaudal resultiert aus der Aktivität im Confluens sinuum. In konkavem Bogen nach rechts und links lateral laufend kann man die Sinus transversi erkennen. Die hintere Schädelgrube wird zum Großteil

Abbildung 8: Normales Szintigramm - occipitale Ansicht

durch die Aktivität in der Nackenmuskulatur überdeckt.

Bei besonderen Fragestellungen kann man noch Scans in Stenvers-Lage (50) oder in Vertex-Position (44) anfertigen. Für Routineaufnahmen sind jedoch diese Techniken zu aufwendig.

Um Szintigramm und anatomische Strukturen genau aufeinander beziehen zu können, beschreiben Marryat und Bull (58) und Galkin et al. (30) Methoden, um einen "Radiophotoscan" zu erhalten, einen Film, der Szintigramm und Röntgenbild aufeinanderprojiziert darstellt. Da jedoch im Technetium-Szintigramm die Normalstrukturen sehr plastisch dargestellt werden, kann man darauf verzichten. Wir benutzten bei unseren Szintigrammen zur Orientierung folgende Markierungspunkte: in der Frontalansicht Glabella und die beiden äußeren Lidwinkel; in der seitlichen Aufnah-

me Glabella, äußerer Lidwinkel und Porus acusticus externus; in der Occipitalansicht Protuberantia occipitalis externa und die Mitte der Rückfläche der beiden Ohrmuscheln.

5.3. Das pathologische Szintigramm

5.3.1. Das Szintigramm bei Tumoren

Tumoren der Großhirnhemisphäre stellen sich im Szintigramm meist sehr eindeutig dar. Sie erscheinen meist als runde, impulsdichte Zone mit scharf abgegrenztem Rand. Erleichtert wird die Diagnose durch das Vorhandensein eines reaktiven Umgebungsödems. Die räumliche Zuordnung des Tumors ist wegen der deutlichen Darstellung der Normalstrukturen gut möglich. Auch ist meist eine relativ genaue Bestimmung der Größe des Prozesses möglich.(87) Eine artdiagnostische Unterscheidung ist jedoch nicht möglich, obwohl nach der Lage Rückschlüsse gezogen werden können. Über die Nachweiswahrscheinlichkeit der einzelnen Tumoren gibt Tabelle 2 Auskunft, die aus den Ergebnissen von Quinn et al. (91), Witcofski et al. (118) und Börner et al. (10) zusammengestellt wurde.

Dabei fällt auf, daß Meningeome und die meisten Glioblastome sehr oft richtig diagnostiziert werden. Astrozytome Grad I und II haben vielleicht deshalb eine geringere Nachweiswahrscheinlichkeit, da wegem dem langsamen Wachstum die tumoreigenen Gefäße den normalen Hirnkapillaren ähnlich sind und deshalb noch eine gewisse

Schrankenfunktion vorhanden ist. (11, 125) Hypophysenadenome können nur dann sichtbar gemacht werden, wenn sie über die Sella hinausgehen. Bei Ponstumoren und Tumoren des Hirnstamms, wie auch bei Tumoren der hinteren Schädelgrube ist die Nachweiswahrscheinlichkeit gering, da sich auf diese Region die Aktivität der Nackenmuskulatur und des Sinus transversus projiziert.

Tumortyp	Zahl d. Fälle	Lokalisation negativ	Nachweiswahrscheinlichkeit
Meningeom	32	1	97 %
verschiedene Glioblastome	72	2	97 %
Astrozytome (Grad 1 und 2)	26	6	77 %
Metastasen	54	6	89 %
Andere Tumoren z.B.Ependymom, Hypophysenadenom,Akustikusneurinom	41	20	51 %
Gesamt	225	35	85 %

Tabelle 2: Nachweiswahrscheinlichkeit von Hirntumoren mit ^{99m}Tc-Pertechnetat (nach 87)

Fall 1:

Anamnese: Die 55-jährige Patientin E. W. klagte seit 8 Jahren über Kopfschmerzen und Einschränkung des Geruchsinns.

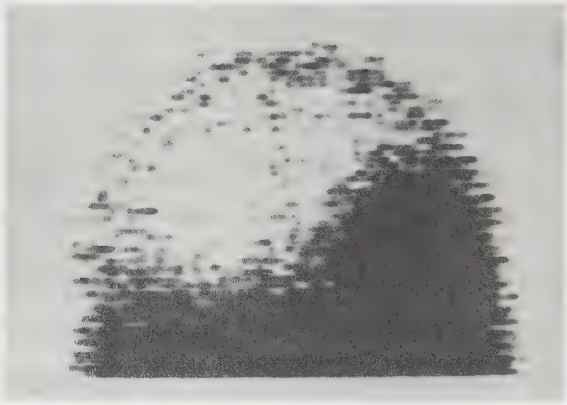
Neurologie: Stauungspapille, 3 Dioptrien bds., geringe Innenohrschwerhörigkeit bds., aromatische Hyposmie li. stärker als re.

EEG: Herdverdacht li.

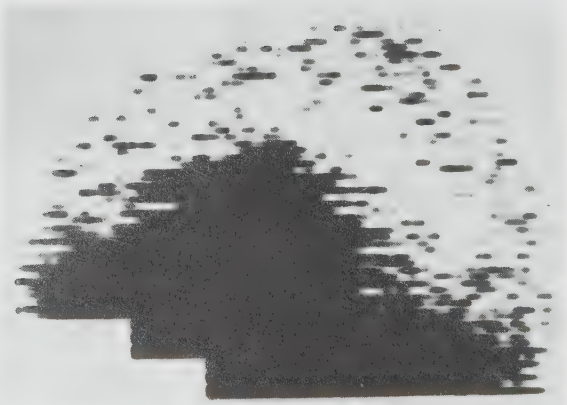
Röntgen: Hirndrucksymptomatik, Verdacht auf basalen Tumor im Bereich der linken mittleren Schädelgrube.

Carotis li.: Reichlich tomatengroßer Tumor im frontotemporalen Abschnitt li. lateral mit Verlagerung der Media. Der Tumor hat einen Nabel mit sternförmig abgehenden strahligen Gefäßabschnitten. (Abb. 9)

Abbildung 9: Carotis-Angiographie - Meningeom temporofrontal li.



a



b

Abbildung 10: Szintigramm - Meningeom temporofrontal li.
Ansicht von frontal (a) und von li. lateral (b)

Szintigr.: Apfelgroße Impulsanreicherung temporofrontal li. (Abb. 10)

Klin.Diag.: Verdacht auf raumfordernden Prozeß li., am ehesten Meningeom

Verlauf: Der Patientin wurde ein faustgroßer, vom äußeren linken Keilbeinflügel ausgehender Tumor entfernt; histologische Diagnose: vorwiegend arachnoitheliales Meningeom.

5.3.2. Das Szintigramm bei Metastasen

Bei Karzinomen der Lunge, Niere, Mamma, Schilddrüse und bei Melanomen finden sich häufig Metastasen im Gehirn. Wie Tumoren lassen sie sich erst ab einer Größe von 1,5 - 2 cm (11, 42, 124) darstellen. Zur Unterscheidung von Tumoren hilft oft die Darstellung von multiplen kleinen Rundherden. Solitärmetastasen sind von Tumoren nicht zu unterscheiden.

Fall 2:

Anamnese: Der 57-jährige Patient W. P. gab an, nie ernstlich krank gewesen zu sein. Allerdings habe er seit einem halben Jahr vor der stat. Aufnahme deutlich an Gewicht verloren und sei inappetent.

Klinik: Verdächtiger Auskultationsbefund über der Lunge. Die

daraufhin durchgeführte Bronchoskopie ergab tumorverdächtiges Gewebe im linken Oberlappenbronchus. Verdacht auf Bronchialkarzinom.

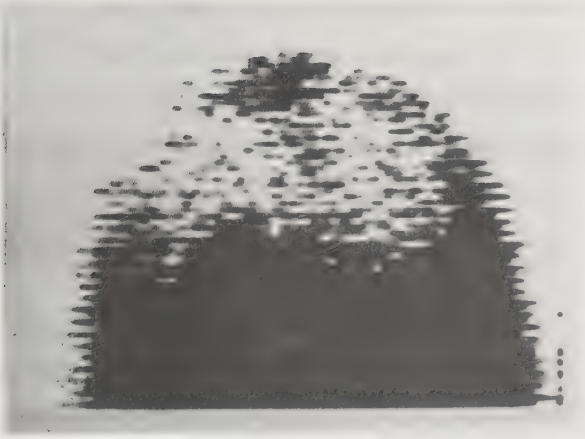
Neurologie: Facialisparese li., Verminderung der groben Kraft und Störung der Koordination li.

EEG: Verdacht auf Herdbefund re. temporofrontal bis zentral.

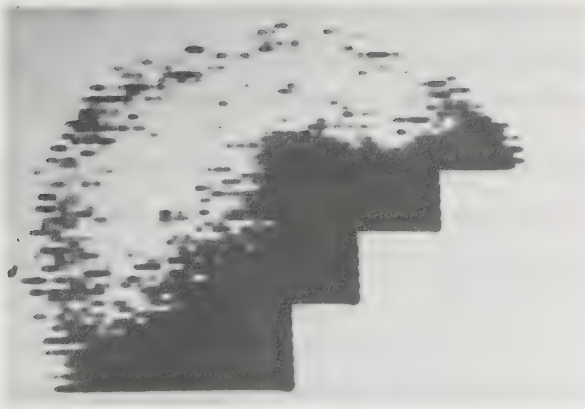
Röntgen: Keine sichere Hirndrucksymptomatik; nach li. verlagertes Corpus pineale.

Carotis re.: Anfärbung tumoreigener Gefäße re. temporoparietal bei geringer Verlagerung der Medianstruktur. (Abb. 11

Abbildung 11: Carotis-Angiographie - Metastase temporoparietal r



a



b

Abbildung 12: Szintigramm - Metastasen bei Bronchialkarzinom
Ansicht von frontal (a) und re. lateral (b)

Szintigr.: Etwa tomatengroße Impulsvermehrung basal re. vordere bis mittlere Schädelgrube. Auch li. basal und basal re. in der mittleren bis hinteren Schädelgrube mehrere bis walnußgroße Herde. - Diffuse Impulsvermehrung. (Abb. 11)

Klin.Diag.: Bronchialkarzinom mit Metastasen im Gehirn.

Verlauf: Der Patient kam kurze Zeit später unter Zeichen des Hirndrucks ad exitum. Obduktionsbefund: kleinzelliges Bronchialkarzinom mit Hirnmetastasen.

5.3.3. Das Szintigramm bei Gefäßprozessen

Positive Szintigramme findet man bei Gefäßprozessen, wie Encephalorrhagien, Encephalomalazien, bei Thrombosen und Embolien, Subarachnoidalblutungen, Aneurysmen u. a. (59, 67, 81, 109, 110)

Nach einem apoplektischen Insult wird der Scan durchschnittlich am 3. - 6. Tag positiv. Dabei färbt sich ein hämorrhagischer Infarkt eher an als ein anämischer. Das Maximum der Schwärzung ist zwischen dem 15. und 28. Tag nach dem Insult erreicht, wo 70 - 80 % der Infarkte sich positiv darstellen. Im allgemeinen erhält man 40 - 80 Tage nach dem Insult wieder einen normalen Scan, wobei nach Ansicht einiger Autoren die Veränderung des szintigraphischen Bildes im Verlauf für die Prognose von Bedeutung ist. (35, 59, 110)

Einen negativen Scan kann man erhalten bei kleineren diffusen Läsionen, Prozessen des Hirnstammes und der Capsula interna oder dann, wenn ein Insult auf eine flüchtige intermittierende Ischämie zurückzuführen ist. Aneurysmen können nur dann erkannt werden, wenn sie größer als 1,5 - 2 cm sind.

Fall 3:

Anamnese: Bei dem 30-jährigen Patienten P. B. wurde anläßlich der Musterung zur Bundeswehr ein erhöhter Blutdruck festgestellt. In der Folgezeit traten wiederholt stechende Schmerzen über der rechten Orbita auf. Wegen einer beginnenden linksseitigen Hemiparese kam er in stationäre Behandlung.

Klinik: RR 185/90 mm Hg

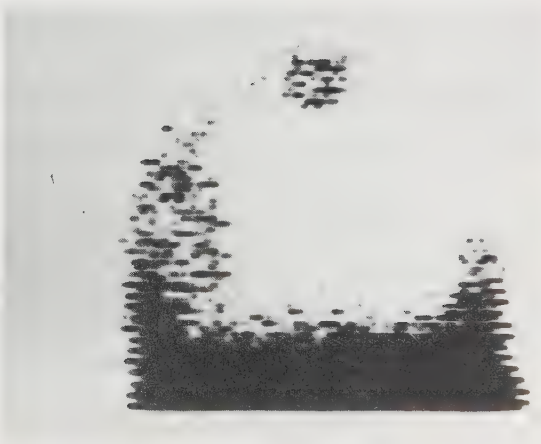
Neurologie: Halbseitensymptomatik li., Facialisparese li.

Röntgen: Hirndrucksymptomatik; Sklerosierung des Carotisabschnittes re.

Carotis re.: Embolischer Verschluß der A. cerebri media an ihrer Teilungsstelle.

Szintigr.: Große Impulsanreicherung temporo-occipital re. (Abb. 13)

Klin.Diag.: Verschluß der A. cerebri media re.



a

b

Abbildung 13: Szintigramm - Verschluß der A. cerebri media re.
Ansicht von frontal (a) und re. lateral (b)

5.3.4. Das Szintigramm bei Entzündungen

Während man bei Meningitiden, Sinusitiden, Encephalitiden etc. selten einen Befund im Szintigramm findet, bilden sich Hirnabszesse fast immer positiv ab. (24) Sie können am Anfang eine starke tumorähnliche Impulsanreicherung zeigen, die später abklingt, wenn eine Abkapselung des Abszesses zustande kommt. Tefft (107) wies darauf hin, daß sich Abszesse schon in einem sehr frühen Stadium (Cerebritis) im Szintigramm darstellen, ehe sie mit anderen Methoden erkennbar sind.

Fall 4:

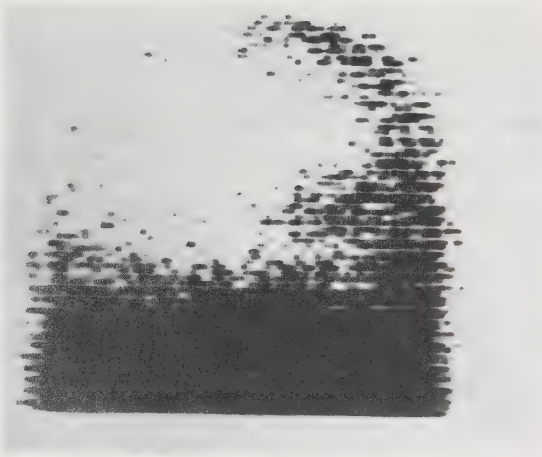
Anamnese: Der 57-jährige Patient O. H. erlitt bei einem Überfall einen Lungendurchschuß li. Ca. 3 Monate später klagte er über starke Kopfschmerzen besonders am Hinterkopf und über Gleichgewichtsstörungen.

Neurologie: Ataxie, motorische Aphasie, Ptosis re., Meningismus.

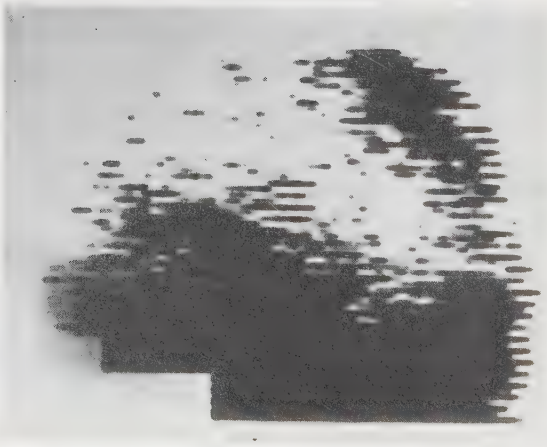
EEG: Verdacht auf Herdbefund li. parietal.

Carotis li.: Gefäßarmut des Mediaversorgungsbereiches, insbesonders der zentral gelegenen, der Insel zugehörigen Bezirke.

Szintigr.: Sichelförmige Herdbildung parieto-occipital li. Im Bereich der vorderen bis mittleren Schädelgrube zusätzlich dichte Impulsvermehrung. (Abb. 14)



a



b

Abbildung 14: Szintigramm - multiple Hirnabszesse
Ansicht von frontal (a) und li. lateral (b)

Klin.Diag.: Purulente Meningitis

Verlauf: Der Patient kam kurze Zeit später ad exitum. Sektionsbefund: ausgedehnte Eiterherde über der linken Hemisphäre, im Kleinhirn und unter der Hypophyse. Ausgangspunkt vermutlich Lungeninfarkt nach Lungendurchschuß li.

5.3.5. Das Szintigramm bei Schädel-Hirn-Trauma

Zu den traumatischen Läsionen, die durch die Szintigraphie diagnostiziert werden können, gehören intracerebrale Hämatome, Subduralhämatome, cerebrale Kontusionen und posttraumatische Narben.

Intracerebrale Hämatome und Kontusionen kann man auf Grund des Szintigramms nicht von Tumoren unterscheiden. (99)

Subduralhämatome stellen sich in der Frontalansicht als charakteristische halbmondförmige Impulsanreicherungen entlang der Kalotte dar. Im lateralen Bild sieht man nach Ansicht einiger Autoren (20, 42) meist keine Veränderung. Nach unseren Erfahrungen kann man jedoch im lateralen Bild häufig eine dichte Impulsstraße von der Kalotte zur Schädelbasis erkennen.

Narben erkennt man an der dreieckigen oder zapfenförmigen scharf begrenzten Impulsanreicherung entlang der Kalotte oder an der Basis.

Fall 5:

Anamnese: Der 68-jährige Patient C. P. hatte 3 Wochen vor der stationären Aufnahme ein Schädeltrauma erlitten. Es entwickelte sich eine zunehmende Somnolenz.

Neurologie: Halbseitensymptomatik li., Stauungspapille re.

EEG: Herdverdacht re.

Röntgen: Hirndrucksymptomatik

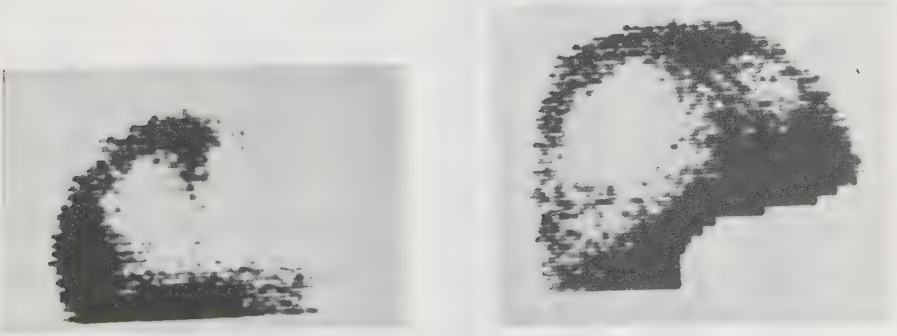
Carotis re.: Gefäßfreier Raum re. temporal mit Verlagerung der Medianstruktur. (Abb. 15)

Szintigr.: Sichelförmige Verbreiterung der Kalotte re. mit breiter Impulsstraße temporal im lateralen Bild. Geringe bogige Verlagerung der Medianstruktur. (Abb. 16)

Klin.Diag.: Subdurales Hämatom re. temporal

Verlauf: Durch ein Bohrloch wurde das Hämatom entleert.

Abbildung 15: Carotis-Angiographie - Subdurales Hämatom temp. re.



a b

Abbildung 16: Szintigramm - Subdurales Hämatom temporal re.
Ansicht von frontal (a) und re. lateral (b)

6. Ergebnisse

6.1. Patientengut

Szintigramme wurden angefertigt von insgesamt 2 000 Patienten, die sich zumeist in der II. Medizinischen Klinik der Universität München zur stationären Behandlung befanden. Dabei handelte es sich um 1 129 (= 56,4 %) männliche und 871 (= 43,6 %) weibliche Patienten aller Altersgruppen. Einen genauen Überblick vermitteln Tabelle 3 und Abbildung 17.

Bei diesen Patienten lag auf Grund von Anamnese und Klinik Verdacht auf ein intrakranielles Geschehen vor. Besonders bei Patienten mit Paresen, zerebralem Krampfgeschehen, ungeklärten Kopfschmerzen, ungeklärter Somnolenz und nach Traumen wurde meist als initiale Untersuchung neben dem EEG ein Szintigramm durchgeführt.

6.2. Auswertung der Szintigramme

Ein positiver Befund wurde dann erhoben, wenn eine abnorme Radioaktivitätskonzentration mindestens in zwei Ebenen nachweisbar war. Bei unklaren bzw. sich widersprechenden Befunden führten wir in den meisten Fällen eine Wiederholung der Untersuchung durch. Die Ergebnisse der Szintigraphie wurden mit den Befunden der neurologischen und neuroradiologischen Untersuchungen, der Elektro- und Echoencephalographie verglichen, soweit sie vor-

Alter	♂	♀	Σ = %
- 20	48	52	100 = 5,00
- 30	155	130	285 = 14,25
- 40	190	141	331 = 16,55
- 50	188	192	380 = 19,00
- 60	253	176	429 = 21,45
- 70	224	125	349 = 17,45
> 70	71	55	126 = 6,30
	1 129	871	2 000 = 100,00

Tabelle 3: Aufteilung der untersuchten Patienten nach Alter und Geschlecht

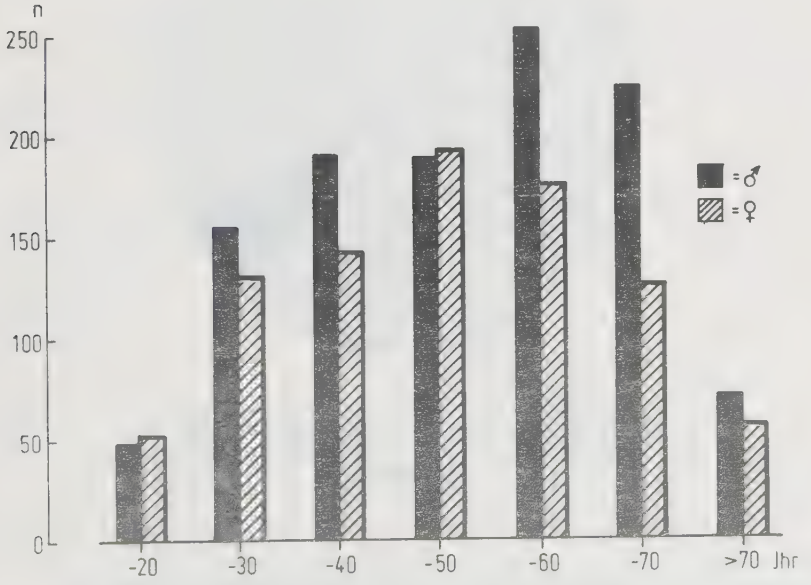


Abbildung 17: Graphische Darstellung von Tabelle 3

handen waren.

Die szintigraphischen Befunde wurden in fünf Gruppen eingeteilt (Abb. 18):

Gruppe I	richtig positiv	1 142 = 57,1 %
Gruppe II	richtig negativ	514 = 25,7 %
Gruppe III	falsch positiv	88 = 4,4 %
Gruppe IV	falsch negativ	32 = 1,6 %
Gruppe V	ungeklärt	224 = 11,2 %

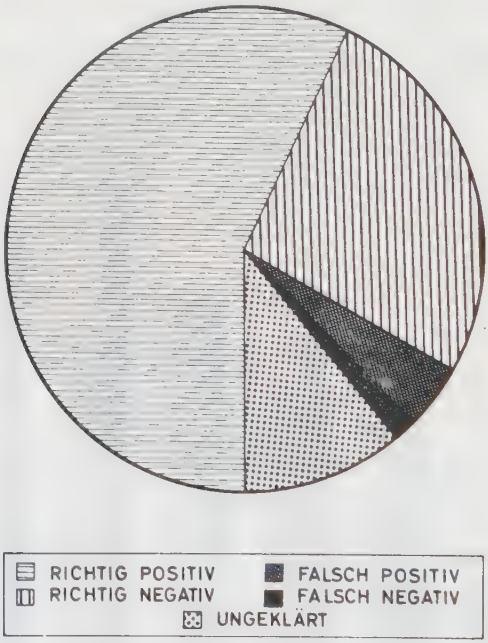


Abbildung 18: Aufteilung der szintigraphischen Befunde

Die 224 Fälle, bei denen der im Szintigramm erhobene Befund ungeklärt blieb, sind für die Statistik nicht berücksichtigt. Die restlichen 1 776 Szintigramme (= 100 %) teilen sich dann auf, wie folgt:

richtig positiv	64,4 %	93,3 %
richtig negativ	28,9 %	
falsch positiv	4,9 %	6,7 %
falsch negativ	1,8 %	
	100,0 %	

Die Trefferquote liegt also bei 93,3 % (= 1 156 Szintigramme). Nur 6,7 % (= 120 Szintigramme) erwiesen sich als falsch.

Von den insgesamt 1 174 intrakraniellen Veränderungen wurden 1 142 (= 96,3 %) richtig erkannt. Bei 32 (= 3,7 %) wurde im Szintigramm kein Befund erhoben. Die Aufteilung der 1 142 richtig positiven Scans ergab folgende Werte (Abb. 19):

Tumoren und Metastasen	269 = 23,6 %
Gefäßprozesse	434 = 38,0 %
Entzündungen	57 = 5,0 %
Traumen	382 = 33,4 %
	1 142 = 100,0 %

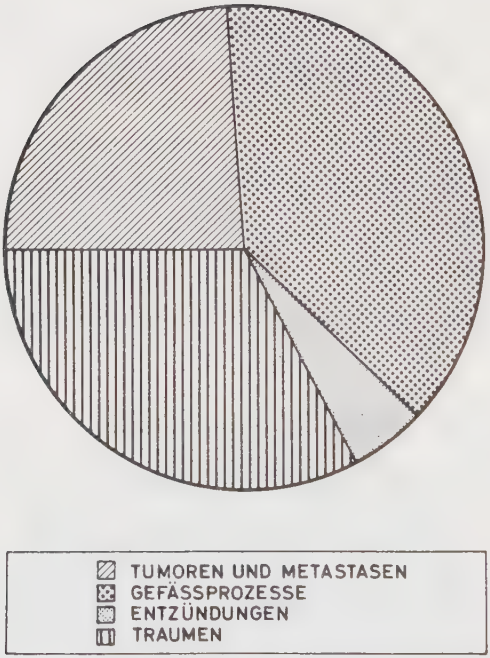


Abbildung 19: Aufteilung der richtig positiven Szintigramme

7. Diskussion

7.1. Allgemeine Bemerkungen zum Isotop und zur Methode

7.1.1. Zum Isotop

Das von uns verwendete Isotop ^{99m}Technetium-Pertechnetat hat gegenüber den bisher zur Hirnszintigraphie verwendeten Isotopen große Vorteile. Durch die wesentlich höhere Dosis, die bei diesem Kurzstrahler verabreicht werden kann, "ist das als Szintigramm niedergelegte Protokoll der Aktivitätsverteilung frei von dem störenden Einfluß, der durch die statistische Streuung bei Registrierung wesentlich kleinerer Impulsraten auftritt." (88)

Die hervorragende Qualität der Technetiumszintigramme wird von vielen Autoren hervorgehoben. (12, 64, 87, 88, 96, 117) Denn durch die hohe Aktivitätsanreicherung werden die Normalstrukturen wesentlich plastischer wiedergegeben als mit dem vorher gebräuchlichsten Isotop ^{203}Hg. Dadurch kann eine Geschwulst sehr genau lokalisiert werden. Schneider et al. (87) berichten, daß sie bei 14 Fällen, in denen der szintigraphische Befund mit dem Bild bei der Autopsie verglichen wurde, eine auch für den Pathologen überraschende Übereinstimmung von Lage und Größe des Prozesses feststellen konnten. Sie fanden keine Größendifferenz, die über 15 - 20 % hinausging. Besonders für eine Indikationsstellung zur Operation ist eine genaue Kenntnis von Lage und Größe eines Prozesses wichtig, wie sie durch das Szintigramm

vermittelt wird.

Ein weiterer Vorteil des Technetiums ist die geringe Strahlenbelastung, wie man aus Tabelle 4 im Vergleich zu den anderen in der Hirnszintigraphie benutzten Isotopen sieht:

Testsubstanz	verabr.Aktiv. [µCi]	Strahlenbelastung [rad/100 µCi] Ganzkörper	krit. Organ
^{203}Hg	700	0,05	40 (Nieren)
^{197}Hg	700	0,01	0,5 (Nieren)
^{99m}Tc	5000-10000	0,001	0,02 (Kolon)
^{131}J-HSA	300-500	0,2	1,5 (Schilddrüse)

Tabelle 4: Strahlenbelastung verschiedener in der Hirnszintigraphie verwendeter Gammastrahler (nach 8)

Die bei einer Dosis von 10 mCi ^{99m}Tc-Pertechnetat im ganzen Körper absorbierte Strahlung von ca. 100 mrad ist nur 20 - 50 % höher als die natürliche Strahlenbelastung eines jeden Menschen innerhalb eines Jahres. (96) Auch die Strahlenbelastung des kritischen Organes - des Darms - mit 1 - 2 rad liegt in der Größenordnung der Strahlendosis, wie sie in der gastro-enterologischen Röntgendiagnostik des Darms anzusetzen ist. (96)

Der Nachteil des Technetiums liegt darin, daß durch die relativ lange Verweildauer des Isotops im strömenden Blut die hintere Schädelgrube durch diese Aktivität überlagert ist (Sinus transversus, Confluens sinuum), so daß die Diagnostik in dieser Ge-

gend erschwert ist. Zusätzlich besteht eine hinderliche Überlagerung durch die Nackenmuskulatur. Außerdem kann das Technetium wegen seiner Kurzlebigkeit nicht direkt bezogen werden und ein neuer Molybdängenerator muß wöchentlich geliefert werden, was zu den hohen Kosten dieser Untersuchung beiträgt.

7.1.2. Zur Methodik

Der von uns verwendete Scanner ist mit einem 5-Zoll-Kristall (12,7 cm) ausgestattet. Gegenüber den Scannern mit einem 3-Zoll-Kristall besteht der Vorteil, daß durch den größeren Kristall die Strahlenausbeute höher ist und dadurch meist eine größere Scangeschwindigkeit bei guter Auflösung gewählt werden kann. (27) "Ob die Vergrößerung des Szintillationskristalls mit Durchmessern von über 5 Zoll wesentliche Vorteile gegenüber dem stark ansteigenden Kostenaufwand bringt, bleibt abzuwarten." (27)

Der grobfokussierende Kollimator mit 19 Bohrungen erleichtert das Auffinden von pathologischen Veränderungen, die sich in unbekannter Tiefe abspielen. Das schlechtere Auflösungsvermögen wird durch eine bessere Zählstatistik aufgewogen. (68) Da die Tiefenschärfe eines Grobfokuskollimators wesentlich besser ist als die eines Feinfokuskollimators, können auch höhere Aktivitäten verabreicht werden. (68)

Durch Verwendung eines Multidetektorscanners mit mehreren Strahlendetektoren, die entsprechend viele Linien gleichzeitig abtasten oder einer Szintikamera könnte die Scanzeit stark verkürzt

werden. Auch technisch ist die Szintikamera den konventionellen Scannern überlegen. (94, 108) Außerdem wäre es dann möglich, Funktionsstudien zu machen. (16) Jedoch ist die Aufstellung solcher Apparate eine Kostenfrage und bleibt Zentren vorbehalten.

7.2. Differentialdiagnose auf Grund des Scanbefundes

Viele Autoren behaupten, daß eine Differentialdiagnose allein auf Grund des Scans nicht möglich ist. Leslie, Alker und Bakay (52) geben jedoch an, daß sie in 90 % ihrer Fälle Tumoren von nicht-neoplastischen Prozessen anhand des Szintigramms unterscheiden konnten und daß sie in vielen Fällen eine noch spezifischere Diagnose stellen konnten. Im folgenden seien die Kriterien aufgeführt, die nach Leslie et al. (52) zur Artdiagnose einer pathologischen Impulsanreicherung im Szintigramm führen können:

1. Form der pathologischen Impulsanreicherung

Um die Form einer pathologischen Impulsanreicherung richtig beurteilen zu können, muß man das Szintigramm mindestens in zwei Ebenen berücksichtigen. - Tumoren sind gewöhnlich rund bis ovoid, können jedoch manchmal auch ganz unregelmäßige Form haben. Intracerebrale Hämatome, Kontusionen, Granulome und Abszesse sehen ähnlich aus, kommen aber vergleichsweise selten vor.

Infarkte stellen sich nach Meinung von Leslie et al. im allgemeinen auf dem seitlichen Scan keilförmig dar und in der Fron-

tal- oder Dorsalaufnahme hornförmig. Im Gegensatz dazu haben wir bei unseren Szintigrammen die Erfahrung gemacht, daß bei Infarkten fast immer eine diffuse Impulsvermehrung besteht, bedingt durch das umgebende Ödem.

Subduralhämatome bilden sich in der Frontalaufnahme ganz typisch als sichelförmige Schwärzung entlang der Kalotte ab; in der Lateralaufnahme zeigen sie oft nur eine diffuse Impulsanreicherung. Dies unterscheidet sie von einigen anderen Läsionen, die sich in der Frontalaufnahme auch sichelförmig darstellen, oft jedoch im lateralen Scan lokalisierte Impulsanreicherung zeigen. Dazu gehören en plaque Meningeome, M. Paget, Metastasen der Kalotte, Z. n. Trepanation und Verletzungen der Kalotte. (42)

2. Begrenzung der Impulsvermehrung

Die meisten Tumoren sind von ihrer Umgebung scharf abgegrenzt, z. B. Meningeome, Metastasen und Glioblastome. Im Gegensatz dazu können Astrozytome Grad I und II oder Akustikusneurinome, die sich auch sonst nur schwach anfärben, undeutlich begrenzt sein.

Cerebrale Infarkte und intracerebrale Hämatome haben gewöhnlich einen unscharfen Rand, aber es gibt auch Beispiele, wo Infarkte scharf von der Umgebung abgesetzt sind, wobei sich der Rand der Schwärzung mit dem Alter des Infarktes ändert. (115)

Die sichelförmigen Impulsvermehrungen sind auf dem Frontalscan meist scharf begrenzt, auf der lateralen Aufnahme ist der Rand unterschiedlich, je nachdem worauf die Schwärzung beruht.

3. Dichte und Homogenität

Im allgemeinen stellen sich Tumoren, besonders Meningeome, Metastasen und Glioblastome als sehr dichte und homogene Impulsanreicherungen dar, doch einige Astrozytome zeigen nur geringe Schwärzung von unterschiedlicher Dichte.

Bei Infarkten findet man gewöhnlich eine unregelmäßigere und weniger dichte Aktivitätsverteilung. Wenn das Szintigramm jedoch zum optimalen Zeitpunkt angefertigt wird, können sie sich außerordentlich homogen darstellen. (81)

4. Zahl der Läsionen

Von einigen Ausnahmen abgesehen, kann man die Darstellung von zwei oder mehr abnormen Impulsanreicherungen als ein Zeichen für Metastasen werten.

Doch kann man auch bei einem Patienten nach Schädel-Hirn-Trauma einen Kontusionsherd am temporalen Pol und einen weiteren am occipitalen Pol finden im Sinne einer Coup-Contrecoup-Verletzung. Ebenfalls können bei einem Patienten zwei Hirnabszesse vorhanden sein oder zwei kleine Infarkte nach Thrombose oder Embolie. William und Beiler (115) berichten von zwei Fällen, bei denen gleichzeitig ein Aneurysma und eine Metastase vorkamen.

5. Ort der Läsion

Leslie et al. (52) halten dieses Kriterium für einen der entscheidensten Aspekte zur Analyse eines positiven Scans. Kennt-

nis der Neuroanatomie und Neuropathologie ist unerlässlich, um Tumoren von nicht-tumorösen Veränderungen unterscheiden zu können.

Etwa 80 - 90 % der Infarkte (115) ereignen sich im Versorgungsgebiet der A. cerebri media nach Thrombose oder Embolie dieses Gefäßes oder der A. carotis interna. Die A. cerebri media versorgt den Großteil der konvexen seitlichen Oberfläche der Hemisphäre. Die meisten Infarkte gehen über das Versorgungsgebiet ihrer Arterien nicht hinaus, wodurch eine gewisse Abgrenzung gegenüber Tumoren zu treffen ist. Die Längsachse der pathologischen Aktivitätsanreicherung richtet sich meist nach dem Verlauf der mittleren Hirnarterie oder deren Äste. Wenn die Längsachse rechtwinklig zum normalen Arterienverlauf steht, ist die Diagnose eines Tumors wahrscheinlicher. Außerdem ist zu beachten, daß der Infarkt meist ein Phänomen des Cortex oder Subcortex ist und so eine oberflächliche Läsion darstellt.

Vordere Hirninfarkte sind verhältnismäßig selten, doch wurde auch dabei von positiven Scans berichtet. Sie beschränken sich auf das Gebiet der A. cerebri anterior und liegen parasagittal und frontal. Hintere Hirninfarkte liegen im klassischen Fall parieto-occipital und parasagittal.

Um einzelne Tumoren differenzieren zu können, geben Bull (14) und Leslie et al. (52) einige Eigenheiten an, die diese Geschwülste bezüglich ihrer Lage haben:

a) Wenn die pathologische Impulsvermehrung nicht in Beziehung zur normalen szintigraphischen Kontur steht und tief im Ge-

webe zu liegen scheint, so ist die Diagnose eines Tumors ausserordentlich wahrscheinlich, auch wenn eine Beziehung zum Versorgungsgebiet der A. cerebri media zu bestehen scheint. Jedoch muß man auch die anterio-posteriore Konvexität der Hemisphäre genau betrachten, ehe man nach wenigstens zwei verschiedenen Ebenen beurteilt, ob sich die Läsion tatsächlich nach zentral erstreckt.

b) Wenn die Aktivitätsanreicherung über die Mittellinie hinausgeht, ist ebenfalls ein Tumor anzunehmen. Glioblastome stellen sich in einer charakteristischen Schmetterlingsfigur dar, die über das Corpus callosum hinausgeht und beide Hemisphären beteiligt. Bei einem Falxmeningeom sieht man eine ähnliche Impulsanreicherung auf beiden Seiten des Balkens, doch ist sie eher rund als schmetterlingsförmig.

c) Eine frontale und parasagittale Läsion oder eine Impulsvermehrung am frontalen Pol läßt einen Tumor vermuten, da Infarkte in dieser Gegend selten sind.

d) Ist die Schwärzung subfrontal oder suprasellär, muß man ein Meningeom oder einen Hypophysentumor in Erwägung ziehen.

e) Bei einem frontozentralen Herd ist es oft nicht möglich, ein Gliom des Thalamus von einer Blutung in der Capsula interna zu unterscheiden.

f) Entspricht die Impulsvermehrung wenigstens teilweise der Lage eines Ventrikels, besonders des Seitenventrikels, kann man auf einen Tumor schließen.

g) Wenn sich die Schwärzung sowohl über die mittlere als auch die hintere Schädelgrube erstreckt, muß man an ein Tentorium-Meningeom denken.

h) Läsionen der hinteren Schädelgrube sind meist Tumoren, da in diesem Gebiet Infarkte unbefriedigend dargestellt werden.

6. Zeitliche Faktoren

Kenntnis der zeitlichen Beziehung zwischen Beginn der klinischen Symptomatik und dem Zeitpunkt der Szintigraphie kann wertvolle Hinweise über die Natur der pathologischen Veränderung geben.

Wie schon früher erwähnt, stellt sich ein Infarkt erst nach 3 - 6 Tagen positiv dar, wobei das Maximum der Impulsanreicherung zwischen dem 15. und 28. Tag liegt. Dieser Herdbefund nimmt dann allmählich ab an Größe, Dichte und Randschärfe und ist nach 40 - 80 Tagen nicht mehr nachweisbar. Jedoch kann ein massiver Infarkt bis zu einem Jahr im Szintigramm sichtbar bleiben. Durch wiederholtes Scanning ist es möglich, einen Befund zu klären, da schon innerhalb weniger Wochen das Impulsmuster des Infarktes abnimmt. Große Infarkte färben sich meist intensiver an, erscheinen früher und bleiben länger sichtbar. Spontane intracerebrale Hämatome verhalten sich meist wie Infarkte, aber die Impulsvermehrung liegt tiefer. Hirnabszesse können 1 - 2 Wochen nach Beginn der klinischen Symptomatik positiv werden (81) und bis zu 6 Monaten nach der Operation darstellbar bleiben.(118)

Eine Impulsvermehrung, die an Größe und Dichte Monate hindurch zunimmt, ist fast sicher ein Tumor. Es können auch Blutungen in

einen Tumor vorkommen und eine Apoplexie vortäuschen, jedoch ist dann der Scan von Anfang an positiv.

Subdurale Hämatome zeigen im allgemeinen nach einer Woche eine Impulsvermehrung, die noch mehrere Monate nach erfolgter Operation im Szintigramm sichtbar ist.

7.3. Ursachen von Fehldiagnosen

7.3.1. Falsch negative Ergebnisse

Wie man aus der Statistik ersieht, ist die Zahl der falsch negativen Szintigramme in unserer Serie erfreulich gering. Dies ist für eine 'Screening'-Methode, wie sie die Szintigraphie darstellt, sehr wichtig, da oft weitere Untersuchungen unterlassen werden, wenn kein positives Ergebnis vorliegt. Im folgenden seien noch einmal einige Punkte zusammengefaßt, die zu einer falsch negativen Beurteilung führen können.

Neben technischen Mängeln, z. B. zu niedriger Dosierung des Isotops (29) oder zu großer Background-Unterdrückung (28) und dem Nachteil der Methode, daß Prozesse unter 1,5 - 2 cm besonders in der Mittellinie auf Grund des ungenügenden Auflösungsvermögen nicht dargestellt werden, ist eine Ursache von Fehldiagnosen die Art der Läsion.

Relativ gutartige, langsam wachsende und gefäßarme Tumoren stellen sich im Szintigramm oft nicht dar. Dazu gehören die gut dif-

ferenzierten Gliome (Astrozytome I und II), Hypophysentumore und Kraniopharyngeome. (11, 19, 29, 103) Die Nachweiswahrscheinlichkeit dieser Tumoren kann nach Meinung von Gates und Dore (31) durch eine Wiederholung des Szintigramms 3 - 4 Stunden nach der Injektion von ^{99m}Tc erhöht werden.

Auch zystische Prozesse (Arachnoidalzysten, Zystizerkus u. a.) zeigen oft keine Anfärbung, da die radioaktive Substanz nicht in den flüssigen Zysteninhalt gelangen kann. (11) Forster und Bethel (29) beschreiben zwei Fälle, wo negative Szintigramme bei Arachnoidalzysten vorkamen. Die Zysten enthielten Liquor cerebrospinalis und hatten dünne avaskuläre Wände. Dagegen zeigen Mishkin und Trushka (66) an fünf Fällen auf, daß Zysten durch ihre verminderte Aktivitätsanreicherung und durch Verschiebung der Medianstrukturen oft diagnostiziert werden können.

Bei Hirninfarkten ist der schon früher erwähnte Zusammenhang zwischen Auftritt der Symptome und der Anfärbung des Herdes im Szintigramm zu beachten. Beim Vorhandensein eines positiven Scans schon im Anfangsstadium eines apoplektischen Insults liegt der Verdacht auf einen Tumor nahe.

Cowan et al. (20) weisen darauf hin, daß negative Szintigramme auch bei Subduralhämatomen vorkommen können, wobei nach ihrer Meinung ein Zusammenhang zwischen dem Fehlen oder der ungenügenden Ausprägung einer Hemoran und dem negativen Szintigramm besteht. Eine Fehldiagnose kann außerdem beim Vorhandensein eines bilateralen subduralen Hämatoms unterlaufen. (29)

Eine weitere Ursache von falsch negativer Bewertung eines Szin-

tigramms ist die ungünstige Lage eines Prozesses. Dazu gehören Tumoren der Schädelbasis, im Sellabereich, in der hinteren Schädelgrube und am Hirnstamm. (11, 15, 29, 32, 61, 124) Diese Prozesse werden meist überdeckt durch die Impulsanreicherung in den großen Blutleitern, in der Muskulatur und in den Schleimhäuten. Es besteht jedoch die Möglichkeit, besonders Prozesse der hinteren Schädelgrube durch geeignete Einstellung sichtbar zu machen. Klemm et al. (50) geben an, daß bei Herdlage in der Mittellinie und hoch an der Brücke, über dem Foramen jugulare und unterhalb davon die Darstellung in occipito-frontaler Richtung bei Drehung des Schädels um 45° gelingt. Mit dieser Methode wurde die Trefferquote von vorher 62 % auf 81 % verbessert.

Auf eine Besonderheit weisen Cradduck und Duggan (21) hin:
Bei Patienten nach Kranioplastik kann die eingesetzte Metallplatte bei Verwendung niederenergetischer Radionuklide, zu denen auch das Technetium gehört, soviel Strahlung absorbieren, daß bei normaler Lagerung des Patienten ein unter der Platte liegender Herd, z. B. ein Tumorrezidiv,übersehen werden kann.

7.3.2. Falsch positive Ergebnisse

Die Rate der falsch positiven Szintigramme ist meist nicht zu erklären. (15) Ob es sich um "echte" falsch positive Resultate handelt oder nur falsch positive im Vergleich zu den Ergebnissen der verschiedenen anderen neurologischen und neuroradiologischen

Untersuchungsmethoden, müßten weitere Kontrollen über einen längeren Zeitraum ergeben, was in unserer Untersuchungreihe nicht möglich war. Aber es gilt, einige Faktoren zu berücksichtigen, die falsch positive Szintigramme verursachen können.

Da ^{99m}Tc über den Magensaft und den Speichel ausgeschieden wird, kann es zu einer extrakraniellen Kontamination kommen z. B. bei Erbrechen eines Patienten während der Untersuchung oder bei starkem Speichelfluß, besonders bei komatösen Patienten. (119) Vor allem bei Kindern ist darauf zu achten, daß sie nicht die Hände vom Mund zum Kopf bewegen. Meist läßt sich jedoch die artifizielle Impulsanreicherung durch den Scan in zwei Ebenen als solche erkennen. (27)

Da die Sinus transversi oft asymmetrisch im Szintigramm erscheinen, kann eine unklare Darstellung der Sinus durch schlechte Lagerung des Patienten nach Meinung von Holmes und Golle (45) zu falsch positiver Bewertung eines Herdes der hinteren Schädelgrube führen. Sie weisen in einer Untersuchungsreihe darauf hin, daß nur 15,1 % der Sinus transversi gleich und symmetrisch dargestellt sind; bei 55,6 % fanden sie einen prominenten rechten Sinus, bei 29,3 % war es der linke. Bei 22,2 % aller Scans war der gewöhnlich kaum sichtbare Sinus occipitalis deutlich dargestellt, wobei er meist in einen prominenten linken Sinus transversus mündete. Es ist daher sehr wichtig, den Confluens sinuum bei der Occipitalaufnahme genau in die Mitte zu projizieren.

Im Technetiumszintigramm kommt der Plexus chorioideus in 10 - 12 % (61) deutlich zur Darstellung. (57, 98, 116) Dies ist eine

weitere Ursache von Fehlinterpretationen. Wie Jodid (57, 98, 116) wird auch Technetium (98) im Plexus chorioideus der Ventrikel durch aktive Transportmechanismen konzentriert. Diese Konzentration kann jedoch durch Perchlorat unterdrückt werden, so daß es sich empfiehlt, bei Unklarheit den Scan nach 24 Stunden zu wiederholen und dem Patienten vor der Untersuchung Perchlorat zu applizieren.

7.4. Die Leistungsfähigkeit der Szintigraphie in der Klinik

7.4.1. Die Szintigraphie im Vergleich mit anderen speziellen neurologischen Untersuchungsmethoden

Wenn bei einem Patienten auf Grund von Anamnese und klinischem Befund auf ein intrakranielles Geschehen besteht, so ist man zunächst bestrebt, die diagnostischen Hilfsuntersuchungen durchzuführen, die den Patienten am wenigsten belästigen und für ihn das geringste Risiko tragen. Dazu gehören neben der Szintigraphie die Nativ-Röntgenaufnahme des Schädels in mehreren Ebenen, die Elektroencephalographie (EEG) und die Echoencephalographie.

Intrakranielle Prozesse werden sich im Röntgenbild nur dann erfassen lassen, wenn sie sich auch an den knöchernen Strukturen der Kalotte oder der Schädelbasis abzeichnen, wenn die physiologischen intrakraniellen Verkalkungen eine abnorme Lage aufweisen oder wenn der Prozeß selbst zu pathologischen Kalkansammlungen führt. (102) Das EEG liefert bei Hirnnekrosen, Tumorgewebe,

Abszessen und Hämatomen nur dann Herdbefunde, wenn eine Mitschädigung des benachbarten Hirngewebes durch Druck, lokale Zirkulationsstörungen, Ödeme oder toxisch-entzündliche Reaktionen vorliegt. (102) Bei langsam wachsenden Tumoren und kleineren Herden bleibt das EEG jedoch unverändert. Das Echoencephalogramm ist vor allem bei Prozessen indiziert, die mit einer Verschiebung der Mittellinie einhergehen, d. h. raumfordernde supratentorielle Prozesse. Bei positivem Ausfall werden diese Tests sinnvoll durch das Szintigramm ergänzt, da hier ein Herd direkt sichtbar gemacht werden kann. Fallen diese Tests jedoch negativ aus, so kann ein positives Szintigramm wertvolle Hinweise geben. (99) Wang et al. (111) fanden eine Nachweiswahrscheinlichkeit von 95 % für intrakranielle neoplastische Prozesse bei Kombination von Szintigramm, Röntgenaufnahme des Schädels, EEG und Echoencephalogramm. In einer Serie von 100 Patienten wiesen Spudis und Maynard (103) nach, daß allein bei Kombination von Szintigraphie und EEG die Wahrscheinlichkeit, einen fortschreitenden organischen Hirnprozeß zu übersehen, außerordentlich gering ist.

Besteht nach diesen 'Screening'-Methoden begründeter Verdacht auf einen intrakraniellen Prozeß, so ist oft eine Abklärung des Befundes durch Arteriographie und Pneumencephalographie nicht zu vermeiden, die für den Patienten subjektiv unangenehm sind und auch bei geübten Untersuchern ein gewisses Risiko tragen. Die Szintigraphie kann sie nicht ersetzen,sondern nur ergänzen. Besonders die Angiographie kann wertvolle zusätzliche Hinweise geben. (13)

Während das Szintigramm genau über Lage und Größe eines intrakraniellen Herdes Auskunft gibt, unterscheidet das Angiogramm zwischen arterio-venösem Shunt und Tumor und, wo es durch das Szintigramm nicht eindeutig möglich ist, zwischen Infarkt und Tumor. Auch stellt das Angiogramm die Gefäßversorgung eines Tumors und jede pathologische Gefäßneubildung im Tumorgebiet dar, was für die präoperative Diagnostik entscheidend ist. Der Nachteil der Angiographie besteht darin, daß nicht jeder Tumor dargestellt wird, da ja primär nur die Gefäße der Hirnoberfläche angefärbt werden und nicht die innerhalb des Parenchyms. So können besonders kleinere Tumoren übersehen werden, die nicht mit Gefäßverlagerungen einhergehen.

Die Pneumencephalographie ist besonders dann wertvoll, wenn man vor einer Operation über die Beziehung eines Herdes zum Ventrikelsystem Bescheid wissen will. Außerdem können dadurch im Ventrikel liegende Zysten, Tumoren des Hirnstammes, des Kleinhirns und des cerebello-pontinen Winkels diagnostiziert werden, die sich im Szintigramm nicht darstellen lassen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die verschiedenen diagnostischen Techniken nicht miteinander konkurrieren. Jede Methode hat ihre Vor- und Nachteile. Eine richtige Diagnose kann nur dann gestellt werden, wenn man die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen nebeneinander betrachtet und gegeneinander abwägt. "Die Hirnszintigraphie ist jedoch unter diesen verschiedenen diagnostischen Hilfsmitteln am hilfreichsten, entscheidensten und genauesten." (113)

7.4.2. Das Szintigramm in der Verlaufskontrolle

Da sich die Hirnszintigraphie als absolut ungefährlich und unbeschwerlich erwiesen hat, ist sie besonders zur Vornahme von Verlaufskontrollen geeignet. Wie schon früher festgestellt, besteht bei Hirninfarkten ein Zusammenhang zwischen Intensität der Impulsanreicherung und Schwere des Befundes. Usher und Quinn (110) stellen fest, daß die Korrelation von Änderung des Impulsverteilungsmusters und klinischem Verlauf wertvolle Hinweise für die Prognose gibt. Fläche und Dichte der Impulsverteilung allein sind jedoch von begrenztem Wert. Sie empfehlen die Anfertigung eines Szintigramms sofort nach Beginn der Symptomatik als Grundlage, nach 7 - 10 Tagen zur Diagnose und nach 3 - 4 Wochen zur Prognose.

Besonders wichtig ist die Kontrolle von Patienten nach durchgeführter Operation eines Tumors, nach Bestrahlung und nach Trauma zur Beurteilung des Therapieerfolges. (48, 124) Nach Kraniotomie wird eine Kontrolle jedoch dadurch erschwert, daß eine ähnliche Impulsvermehrung wie beim subduralen Hämatom sichtbar ist. (124) Quinn et al. (91) konnten bei einem Patienten noch 22 Jahre nach Kraniotomie eine Aktivitätsanreicherung feststellen. Ebenso ist es oft unmöglich bei Herden der Schädelbasis zwischen Operationsdefekt und Rezidiv zu unterscheiden.

An zwei Beispielen soll nun der Wert der Szintigraphie in der Verlaufskontrolle erläutert werden.

Fall 6:

Anamnese: Die 28-jährige Patientin M. W. klagte eine Woche vor der stationären Aufnahme über Schwindelgefühl, Kopfschmerzen und häufiges Erbrechen im Anschluß an einen Infekt.

Neurologie: Beginnende Stauungspapille bds., Abducensparese li., fehlende Bauchhautreflexe li.

EEG: Herdverdacht re.

Echo: Verschiebung des Mittelechos um 3,5 cm nach li.

Carotis re.: Etwa apfelsinengroßer, kugeliger, deutlich begrenzter raumfordernder Prozeß frontal re.

Szintigr.: Apfelgroße Impulsanreicherung frontal re. (Abb. 20)

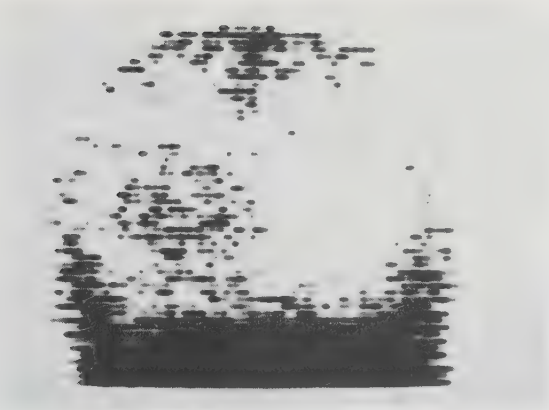
Klin. Diag.: Intrakranieller raumfordernder Prozeß.

Verlauf: Der Patientin wurde ein Oligodendrogliom Gruppe III re. fronto-präzentral entfernt.

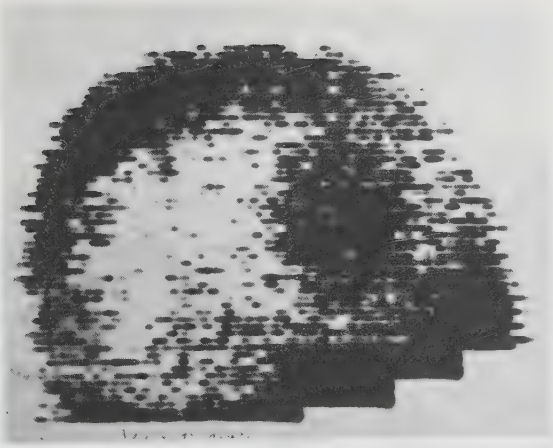
4 Wochen nach der Operation wurde bei der Patientin ein Kontrollszintigramm durchgeführt.

Szintigr.: Die Trepanationsnarbe zeichnet sich in typischer Weise ab. Ein neuer Herd ist nicht zu erkennen. (Abb. 21)

9 Monate später bot ein Kontrollszintigramm folgenden Befund:

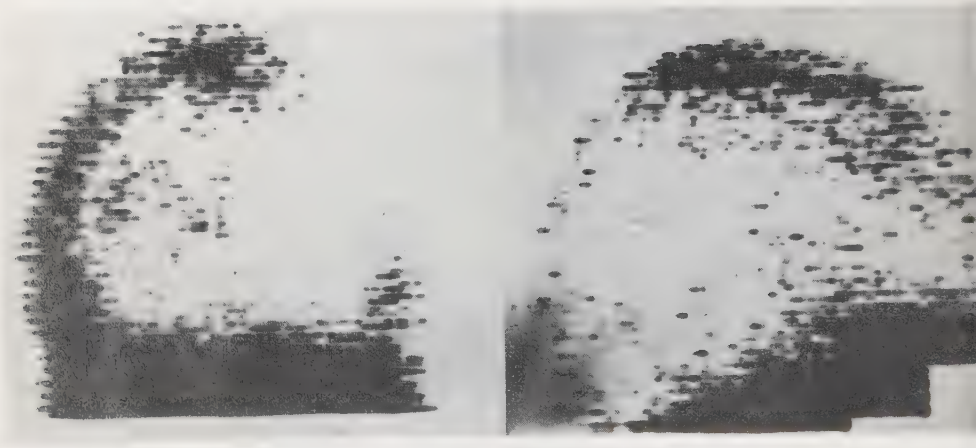


a



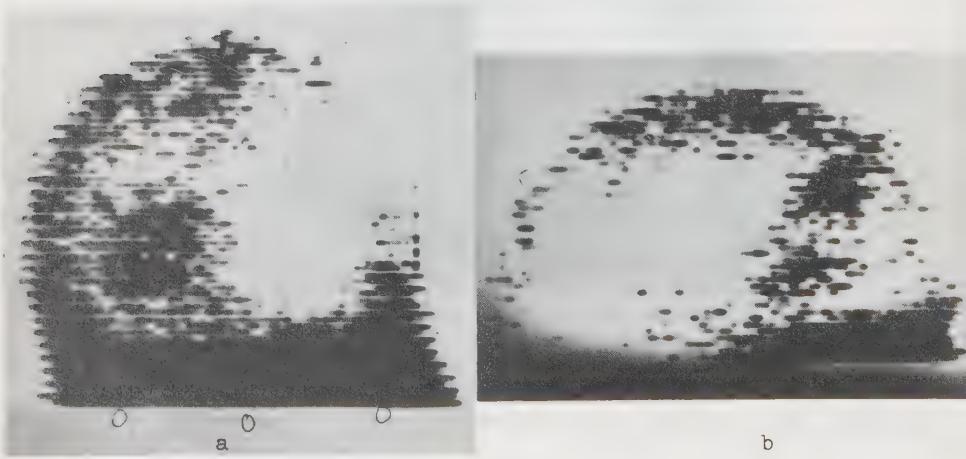
b

Abbildung 20: Oligodendrogliom III fronto-präzentral re.
Ansicht von frontal (a) und re. lateral (b)



a b

Abbildung 21: Zustand 4 Wochen nach Operation
Ansicht von frontal (a) und re. lateral (b)



a b

Abbildung 22: Erneute Tumorbildung temporofrontal re.
Ansicht von frontal (a) und re. lateral (b)

Szintigr.: Erneute klein-hühnereigroße Herdbildung temporo-frontal re.: Rezidiv. Der Trepanationsdefekt liegt außerhalb des Befundes. (Abb. 22)

Dieser Befund wurde auch klinisch und im EEG bestätigt. Die Patientin kam kurze Zeit später unter den Zeichen eines zentralen Lungenödems ad exitum.

Fall 7:

Anamnese: Der Patient H. A. hatte bei einem Verkehrsunfall ein schweres Schädel-Hirn-Trauma erlitten und war danach 11 Tage bewußtlos.

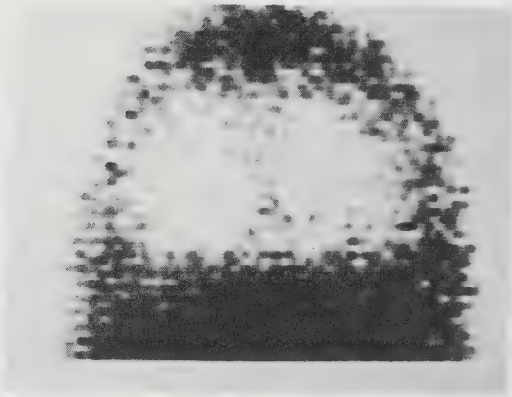
Neurologie: Abducensparese bds., Facialisparese li., Stauungspapille re. 1,5 - 2 Dioptrien und li. 1 Dioptrie.

EEG: Mittelgradig allgemeinverändert ohne Herdnachweis.

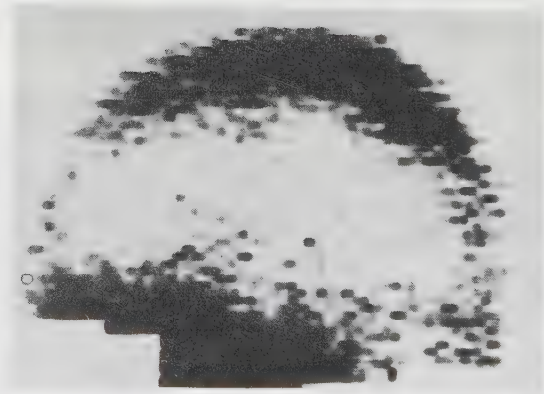
Röntgen: Fraktur im Bereich der mittleren Schädelgrube li., die durch das Felsenbein bis in den basalen Abschnitt des vorderen Schädelraumes reicht. Zahlreiche kleinere Fissuren und Frakturen, so eine Abrißfraktur am Dorsum sellae.

Szintigr.: Geringe periphere Impulsvermehrung entlang dem parieto-occipitalen Abschnitt li. Stärkere Impulsvermehrung an der Basis der mittleren Schädelgrube li. (Abb. 23)

Klin. Diag.: Schädelbasisfraktur mit Contusio cerebri.



a

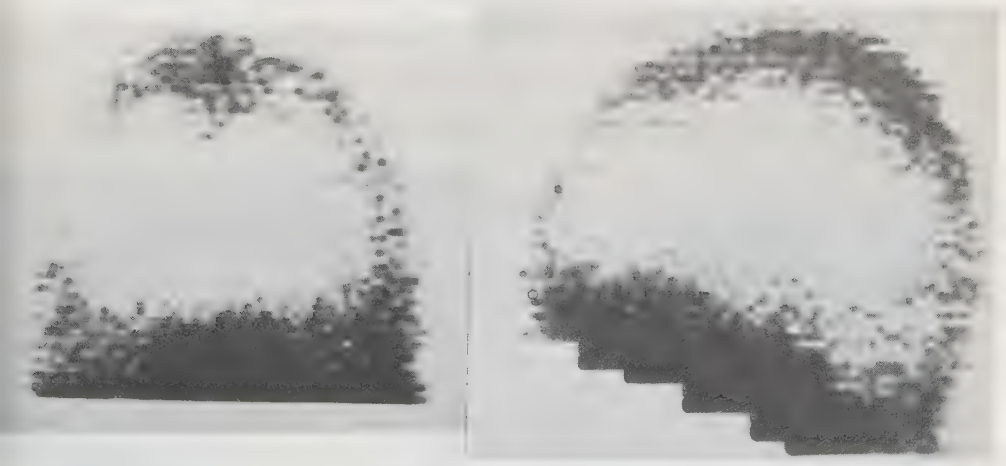


b

Abbildung 23: Zustand nach Schädel-Hirn-Trauma
Ansicht von frontal (a) und li. lateral (b)

Verlauf: Durch intensive diuretische Therapie wurde das bestehende Hirnödem ausgeschwemmt und der Zustand des Patienten besserte sich. Den Therapieerfolg konnte man auch im Szintigramm 10 Tage später feststellen.

Szintigr.: Rückgang des lateralen Kontusionsödems. Unveränderter basaler Blutungsherd. (Abb. 24)



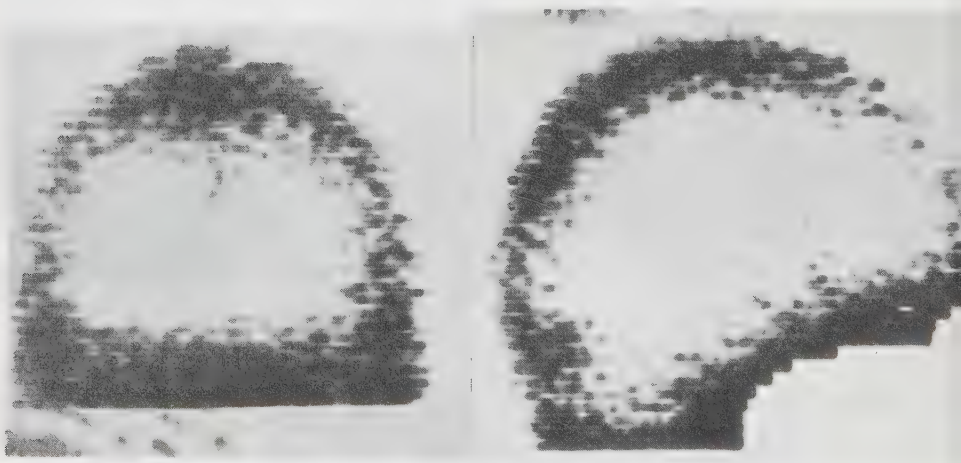
a b

Abbildung 24: Zustand 10 Tage nach Schädel-Hirn-Trauma
Ansicht von frontal (a) und li. lateral (b)

Drei Monate später kam der Patient erneut zur Kontrolle. Wie das Röntgenbild hatte sich auch der szintigraphische Befund gebessert.

Szintigr.: Die durch Kontusion, Blutung und Ödem bedingte Impulsvermehrung parieto-occipital weitgehend zurückgebildet; nur noch spärlicher Restbefund. Die basalen frakturbedingten Blutungsherde unverändert nachweisbar, jedoch in der Größe reduziert. (Abb. 25)

Die jetzigen Beschwerden des Patienten, besonders von seiten der Augen, sind durch den Befund an der Schädelbasis zu erklären.



a b

Abbildung 25: Zustand 3 Monate nach Schädel-Hirn-Trauma
Ansicht von frontal (a) und re. lateral (b)

8. Zusammenfassung

Durch die günstigen Eigenschaften und die geringe Strahlenbelastung des Isotopes Technetium^{99m} und die einfache, für den Patienten unbeschwerliche Art der Untersuchung ist die Hirnszintigraphie zu einem wertvollen diagnostischen Hilfsmittel zur Erfassung von Tumoren, Metastasen, Gefäßprozessen, Entzündungen und traumatischen Läsionen geworden. Es besteht die Möglichkeit der Differentialdiagnose auf Grund des Scanbefundes. Die Röntgendiagnostik der intracerebralen Erkrankungen, das Elektroencephalogramm und das Echoencephalogramm werden durch die Szintigraphie sinnvoll ergänzt. Auch in der Verlaufskontrolle ist die Hirnszintigraphie von Vorteil.

Bei 2 000 durchgesehenen Hirnszintigrammen wurde eine Trefferquote von 93,3 % gefunden.

9. Literaturverzeichnis

1. Anger, H. O. — Gamma-ray and positron scintillation camera. Nucleonics 21:56, 1963

2. Anger, H. O. — Scintillation camera with multichannel collimators. J. Nuclear Med. 5:515, 1964

3. Anger, H. O., A. Gottschalk — Localisation of brain tumors with the positron scintillation camera. J. Nuclear Med. 4:326, 1963

4. Bakay, L. — The blood-brain-barrier with special regard to the use of radioactive isotopes. C. C. Thomas, Springfield, USA, 1965

5. Bakay, L. — Basic aspects of the accumulation of substances in brain tumors. in: Brain tumor scanning with radioisotopes. C. C. Thomas, Springfield, USA, 1969

6. Bakay, L., P. C. Kung, J. C. Lee — Correlation between the ultrastructure of brain tumors and their uptake of ^{203}Hg chlormerodrin. in: Brain tumor scanning with radioisotopes. C. C. Thomas, Springfield, USA, 1969

7. Börner, W. — Informations- und Arbeitstagung des Deutschen Atomforums e. V. Bonn, 13., 14. 5. 1966 (nach 8)

8. Börner, W., E. Moll
Lokalisationsdiagnostik mit ^{99m}Tc
Forschungsbericht des Bundesministeriums für Wissenschaft u. Forschung Würzburg, 1966

9. Börner, W., E. Moll, H. Bayer
3. Tagung der Ges. f. Nuklearmedizin Lausanne, 1965 (nach 8)

10. Börner, W., E. Moll, H. Spuler
Hirnszintigraphie mit Tc^{99m}-Pertechnetat
Med. Welt 1:27, 1966

11. Brenner, H., E. Deisenhammer, R. Höfer, K. Jellinger, J. G. Pernhaupt
Szintigraphische Erfahrung mit Hirngeschwülsten
Wien. klin. Wochenschrift 81:209, 1969

12. Bucy, P., J. S. Ciric
Brain scans in diagnosis of brain tumors
JAMA 6:93, 1965

13. Bucy, P., J. S. Ciric
Radioactive brain scans compared to other diagnostic technics
in: Brain tumor scanning with radioisotopes
C. C. Thomas, Springfield, USA, 1969

14. Bull, J. W. D.
Topographical criteria for pathological diagnosis of intracranial masses by means of gamma encephalography
Acta Radiologica 5:754, 1966

15. Bull, J. W. D., J. Marryat
Isotope encephalography: experience with 100 cases
Brit. Med. J. 1:474, 1965

16. Burke, G., A. Halko
Cerebral blood flow studies with sodium pertechnetate Tc-99m and the scintillation camera
JAMA 204:319, 1968

17. Cassen, B., L. Curtis, C. W. Reed, L. Libby
Instrumentation for J^{131} use in medical studies
Nucleonics 9:46, 1951

18. Cheguillaume, J., A. Malinowski, J. Minier
Intérêt de l'emploi du Technétium^{99m} dans l'exploration de la thyroide et du cerveau
J. de Radiologie et d'Electrologie 49:49, 1968

19. Cohn, H. J., M. H. Soiderer
Tissue vascularity in positive and negative brain scans
J. Nuclear Med. 10:553, 1969

20. Cowan, R. J., C. D. Maynard, K. R. Lassiter
Technetium^{99m}-pertechnetate brain scans in the detection of subdural hematomas: a study of the age of the lesion as related to the development of a positive scan
J. Neurosurg. 32:30, 1970

21. Cradduk, T. D., H. E. Duggan
Effect of skull plates on postoperative brain scans
J. Nuclear Med. 10:140, 1969

22. Curtis, L., B. Cassen
Speeding up and improving contrast of thyroid scintigrams
Nucleonics 10:58, 1952

23. Danckwortt, P. W.
Luminiszenz-Analyse im filtrierten ultra-violetten Licht
Leipzig, 1934

24. Davis, D. O., E. J. Potchen
Brain scanning and intracranial inflammatory disease
Radiology 95:345, 1970

25. Deckart, H., M. Tautz
Physikalische und biologische Studien mit Technetium^{99m}
Deutsch. Gesundheitswesen 21:222, 1966

26. Dugger, G. S., F. D. Pepper
The reliability of radioisotopic encephalography. A correlation with other neuroradiological and anatomical studies
Neurology 13:1042, 1963

27. Feine, U., K. zum Winkel
Nuklearmedizin - Szintigraphische Diagnostik
G. Thieme, Stuttgart, 1. Aufl. (1969)

28. Filson, E. J., A. Rodriguez-Antunez
Isotope scanning of brain tumors using ^{99m}Tc
Acta Radiol. 7:380, 1968

29. Forster, D. M. C., A. N. Bethell
The diagnostic value of scintillation brain scanning
Clin. Radiol. 20:257, 1969

30. Galkin, B. M., C. Mansfield, J. Franco, G. Birney, J. W. Kozielski
Anatomic localisation in isotope photoscans
Radiology 96:195, 1970

31. Gates, G. F., E. K. Dore
Delayed ^{99m}Tc brain scanning of brain tumors
J. Nuclear Med. 11:321, 1970

32. Gold, L. H., M. K. Loken
Retrospective evaluation of isotope images of the brain in 852 patients
Radiology 92:1473, 1969

33. Graul, E. H., H. Kuni
Einführung in die Diagnostik der Nuklearmedizin
Fa. Hoechst, Frankfurt, 1967

34. Graul, E. H., H. Kuni, K. Joseph
Nuklearmedizinische Diagnostik
Fa. Hoechst, Frankfurt, 1970

35. Gutterman, P., H. A. Shenkin
Cerebral scans in completed strokes. Value and prognosis of clinical course
JAMA 207:145, 1969

36. Gutzer, H. J.
Zur Hirnszintigraphie mit dem Isotop ^{99m}Technetium-Pertechnetat im Rahmen der klinisch-neurologischen Diagnostik von Hirnveränderungen
Inaug. Dissertation, Universität München, 1970

37. Hager, H.
Morphological compartments in the central nervous system
in: Brain Edema
Springer, Wien - New York, 1967

38. Harper P. V., R. Beck, D. Charleston, K. A. Lathrop
Optimization of a scanning method using 99m-Tc
Nucleonics 22:50, 1964

39. Harper, P. V., K. A. Lathrop, R. J. McCardle, G. Andros
The use of technetium-99m as a clinical scanning agent for thyroid, liver and brain
in: Medical Radioisotope scanning
Vol. II/33, IAEA Wien, 1964

40. Harper, P. V., K. A. Lathrop, R. J. McCardle, G. Andros, A. Goodman, R. N. Beck, J. Covell
Technetium-99m as a clinical tracer in: Radioaktive Isotope in Klinik und Praxis VI
Urban & Schwarzberg, München - Berlin, 1965

41. Harper, P. V., K. A. Lathrop, F. Jiminez, R. Fink, A. Gottschalk
Technetium-99m as a scanning agent
Radiology 85:101, 1965

42. Heiser, W. J., J. L. Quinn, W. V. Mollihan
The crescent pattern of increased radioactivity in brain scanning
Radiology 87:483, 1966

43. Hoechst AG
Technetium-99m-Generator
Allgemeine Hinweise und Elutionsvorschrift
Frankfurt/Main

44. Holmes, R. A.
The vertex view in routine brain scanning
Am. J. Roentgenology 106:347, 1969

45. Holmes, R. A., R. Golle
Appearance of the transverse sinuses by brain scanning
Am. J. Roentgenology 106:340, 1969

46. Hossmann, K. A.
Morphological substrate of the blood-brain-barrier in human brain tumors in: Brain Edema
Springer, Wien - New York, 1967

47. Jackson, G. L., M. C. Corson, J. Baxter, N. Blosser
Radioautographic determination of cellular localisation of radioactive mercury (^{203}Hg) chlormerodrine in brain tumors
New England J. Medicine 277:1006, 1967

48. Joseph, K., W. Lang, E. H. Graul, E. Herrmann, V. Calatayud
Nuklearmedizinische Diagnostik in der Neurologie
Dtsch. Ärzteblatt 17:967, 1968

49. Keeling, D. H., T. H. E. Bryant
The preparation of technetium-99m for clinical use
Radioaktive Isotope in Klinik und Praxis VII/11
Urban & Schwarzberg, München - Berlin, 1966

50. Klemm, J., P. Dohrn, A. Kollmannsberger, V. Kosmaoglu
Ein Beitrag zur szintigraphischen Darstellung cerebraler Herdbildungen der hinteren Schädelgrube
Fortschr. Röntgenstr., Beiheft 1968, S. 149

51. deLand, F. H., H. N. Wagner
Interpretation of brain scans
IV. Cerebral vascular accidents
JAMA 10:330, 1969

52. Leslie, E. V., G. J. Alker, L. Bakay
The differential diagnosis of neoplastic and non-neoplastic disease on the basis of radioisotope brain-scanning
in: Brain tumor scanning with radioisotopes
C. C. Thomas, Springfield, USA, 1969

53. Loken, M. K., G. T. Telander, R. J. Salmon — Technetium^{99m} compounds for visualization of body organs JAMA 194:152, 1965

54. Low, F. H. — Messung radioaktiver Isotope Fa. Hicker, Espelkamp

55. MacIntyre, W. J., T. S. Houser — A method for visualization the configuration and structure of the liver. Part B: Counting rate cut-off circuit for increasing contrast in automatic scanning Am. J. Roentgenology 77:471, 1957

56. Mallard, J. R., M. H. Duggan, M. J. Myers, R. J. Wilks — An analysis of quantitative colour display for scanning in: Medical Radioisotope Scanning I, IAEA Wien, 1964

57. Mandel, P. R., B. S. Saxe, D. Faegenburg, H. Chiat — Demonstration of the choroid plexus with technetium^{99m} brain scan Am. J. Roentgenology 102:97, 1968

58. Marryat, J., J. W. Bull — An apparatus providing a combined radiograph and gamma-scan Brit. J. Radiol. 37:711, 1964

59. Marshall, J., M. G. Popham — Radioactive brain scanning in the management of cerebrovascular disease J. Neurol., Neurosurg., Psychiat. 33:201, 1970

60. Matthews, G. M. E., J. R. Mallard — Distribution of^{99m}Tc and tumor/brain concentration in rats J. Nuclear Med. 6:404, 1965

61. Maynard, C. D.
The nervous system
in: Clinical Nuclear Medicine
W. B. Saunders, Philadelphia, 1969

62. Mayneord, M. V., R. Turner, S. Newbery, H. Hodt
A method for making visible the distribution of activity in a source of ionizing radiation
Nature 68:762, 1951

63. McAfee, J. G., G. F. Fueger
The value and limitation of scintillation scanning in the diagnosis of intracranial tumors
in: Scintillation scanning in clinical medicine
W. B. Saunders, Philadelphia, 1964

64. McAfee, J. G., C. F. Fueger, H. S. Stern, H. N. Wagner, T. Migita
Tc-99m-Pertechnetate for brain scanning
J. Nuclear Med. 5:811, 1964

65. Miller, E. R., N. E. Scofield
Studies with radioiodine
IV. Collimating counts for crystal counters
Radiology 65:96, 1955

66. Mishkin, F., J. Trushka
The diagnosis of intracranial cysts by means of the brain scan
Radiology 90:740, 1968

67. Molinari, G. G., F. Fircher, A. Heyman
Serial brain scanning using technetium^{99m} in patients with cerebral infarction
Neurology 17:627, 1967

68. Moll, E., E. Sinagowitz, W. Börner, L. Rauh — Die Eignung niederenergetischer Gammastrahler für die Szintigraphie
Nuklearmedizin Vol. III, I, 1967
(nach 36)

69. Moore, G. E. — Fluorescein as an agent in the differentiation of normal and malignant tissues
Science 106:130, 1947

70. Moore, G. E. — Use of radioactive diiodofluorescein in the diagnosis and localisation of brain tumors
Science 107:569, 1948

71. Moore, G. E., G. A. Smith, C. M. Candill et al. — Clinical and experimental studies of intracranial tumors with fluorescein dyes with an additional note concerning the possible use of K-42 and J-131 tagged human albumin
Am. J. Roentgenology 66:1, 1951

72. Morczek, A., H. J. Otto, K. Abraham — Radioisotope in der Hirndiagnostik
Rad. biol. ther. 8:701, 1967

73. Mummenthaler, M. — Neurologie, S. 60 f
G. Thieme, Stuttgart, 2. Aufl. (1969)

74. Mundinger, F. — The biological basis of the utilization of isotopes for gamma-encephalography
in: Radioisotopes et Affections du Système Nerveux Central
Masson & Cie, Paris, 1965

75. Mundinger, F., H. Gerhard
Untersuchungen über die Verteilung der zur Hirntumordiagnostik verwendeten Radioisotope in der Blutbahn, in experimentellen Tumoren und menschlichen Hirngeschwülsten
Acta Neurochir. 9:398, 1963

76. Neil, C. M.
The question of radiation exposure to the hand from handling ^{99m}Tc
J. Nuclear Med. 10:732, 1969

77. Oeser, H., W. Schuhmacher, H. Ernst, D. Frost
Atlas der Szintigraphie
W. de Gruyter & Co, Berlin, 1970

78. Oldendorf, W. H., Iisaka, Y.
Interference of scalp and skull with external measurements of brain isotope content
J. Nuclear Med. 10:177, 1969

79. Oldendorf, W. H., W. B. Sisson, Iisaka, Y.
Compartemental redistribution of ^{99m}Tc-pertechnetate in the presence of perchlorate ion and its relation to plasma protein binding
J. Nuclear Med. 11:85, 1970

80. Oppelt, W. W., D. P. Rall
Brain extracellular space as measured by diffusion of various molecules into brain
in: Brain Edema
Springer, Wien - New York, 1967

81. Overton, M. C., T. P. Haynie, S. R. Snodgrass
Brain scans in non-neoplastic lesions. Scanning with Hg^{203} and Hg^{193}
JAMA 191:431, 1965

82. Picker GmbH
Handbuch der Szintigraphie
Espelkamp

83. Pizon, P. — Le Technétium $^{43}_{99m}$ La Presse Médicale 75:477, 1967

84. Planiol, Th. — Diagnostic des tumeurs cerébrales par les radioisotopes Thérapie Paris 12:747, 1957

85. Planiol, Th. — Diagnostic des lésions intra-crani-ennes par les radioisotopes Masson & Cie., Paris, 1959

86. Planiol, Th., Ganthier, G. — Gammaencéphalographie Bull. Schweiz. Akad. med. Wiss. 18:882, 1962

87. Prévôt, H., C. Schneider — Lokalisationsdiagnostik von Hirnge-schwülsten mittels Technetium^{99m} Rad. biol. ther. 9:17, 1968

88. Prévôt, H., C. Schneider, D. Novak — Vergleichende Untersuchungen zur Hirn-tumor-Lokalisation mit ^{203}Hg und ^{99m}Tc Bericht über d. 47. Tagg. d. Dtsch. Röntgenges., S. 138 G. Thieme, Stuttgart, 1967

89. Pschyrembel, W. — Klinisches Wörterbuch W. de Gruyter & Co., Berlin, 185. - 250. Aufl. (1969)

90. Quinn, J. L. — Tc^{99m}pertechnetat for brain scanning Radiology 84:354, 1965

91. Quinn, J. L., J. Ciric, W. H. Hauser — Analysis of 96 abnormal brain scans using Tc^{99m} (pertechnetate form) JAMA 194:157, 1965

92. Raimondi, A. J. — Ultrastructure and the biology of the human brain tumors Prog. Neurol. Surg. 1:1, 1966

93. Riccabona, G., F. Scharfetter
Untersuchung über den Mechanismus der Bindung von ^{203}Hg-Chlormerodrin im Gehirntumor
5. Jahrestgg. d. Dtsch. Ges. f. Nuklearmedizin, Wien, 1967

94. Schenk, P., E. Klar, W. Piotrowski
Der Nachweis von Hirntumoren mit konventioneller Scanner-Methodik und Szintillationskamera
Therapiewoche 33:1149, 1967

95. Schneider, C., H. Prévôt
Das normale Hirnszintigramm mit 203-Hg-Chlormerodrin und 99m-Tc-Pertechnetat
Fortschr. Röntgenstr. 105:99, 1966

96. Schneider, C., H. Prévôt, T. Tzonas
Szintigraphie mit ^{203}Hg und ^{99m}Tc in der Diagnostik von Hirntumoren
Deutsch. Med. Wochenschrift 7:285, 1968

97. Selzam, E. v.
Posttraumatische Veränderungen im Hirnszintigramm
Inaug. Dissertation, Universität München, 1971

98. Silberstein, A. B., L. M. Levy
^{99m}Tc localisation in the choroid plexus
Radiology 95:529, 1970

99. Smith, B., E. V. Leslie, G. J. Alker
Radioisotope encephalography
New York State J. Med. 393:769, 1968

100. Smith, E. M.
Properties, uses, radiochemical purity and calibration of ^{99m}Tc
J. Nuclear Med. 5:871, 1964

101. Smith, E. M. — Internal dose calculation for ^{99m}Tc
J. Nuclear Med. 6:231, 1965

102. Soyka, D. — Kurzlehrbuch der klinischen Neurologie
F. K. Schattauer, Stuttgart - New York, 1. Aufl. (1970)

103. Spudis, E. V., C. D. Maynard — Reliability of brain scans and electroencephalograms in combination
Southern Med. J. 62:529, 1969

104. Swett, A. E. — The brain scan - an ideal screening study for intracranial pathology
J. Maine Med. Ass. 60:109, 1969

105. Tator, C. H. — Factors involved in the uptake and distribution of radioactive tracers in brain tumors and brain
in: Brain tumor scanning with radioisotopes
C. C. Thomas, Springfield, USA, 1969

106. Tauxe, W. N., H. C. Thorsen — Cerebrovascular permeability studies in cerebral neoplasms: optimal dose-to-scan interval for pertechnetate brain scanning
J. Nuclear Med. 10:34, 1969

107. Tefft, M., D. D. Matson, E. B. Neuhauser — Brain abscess in children: Radiology method for early recognition
Am. J. Roentgenology 98:675, 1966

108. Telander, G. T., M. K. Loken — Comparison of the scintillation camera with a conventional rectilinear scanner using ^{99m}Tc-pertechnetate in a tumor brain phantom
J. Nuclear Med. 8:481, 1967

109. Tow, D. E., H. N. Wagner, F. deLand, W. A. North
Brain scanning in cerebral vascular disease
JAMA 207:105, 1969

110. Usher, M. S., J. L. Quinn
Serial brain scanning with technetium^{99m} in cerebral infarction
Am. J. Roentgenology 106:728, 1969

111. Wang, Y. F. J., T. J. Shea, J. A. Rosen
Comparison of the accuracy of brain scanning and other procedures used for brain tumor detection
Neurology 15:1117, 1965

112. Webber, M. M.
Technetium^{99m} normal brain scans and their anatomical features
Am. J. Roentgenology 94:815, 1965

113. Wende, S.
Technik und Wert der Gamma-Encephalographie
Fortschritt Röntgenstr. 98:466, 1963

114. Wende. S.
Die Gamma-Encephalographie bei der Hirntumor-Diagnostik
Röntgen-Blatt 18:428, 1965

115. Williams, J. L., D. D. Beiler
Brain scanning in non-tumorous condition
Neurology 16:1159, 1966

116. Witcowski, R., R. Janeway, C. D. Maynard
Visualization of the choroid plexus in the technetium-99m brain scan. Clinical significance and blocking by potassium perchlorate
Arch. Neurol. 16:286, 1967

117. Witcowski, R., D. Maynard, L. Meschan
The utilization of 99m-Tc in brain scanning
J. Nuclear Med. 6:121, 1965

118. Witcowski, R., D. Maynard, T. Roper
A comparative analysis of the accuracy of the technetium-99m pertechnetate brain scan. Followup of 1000 patients
J. Nuclear Med. 8:187, 1967

119. Witcowski, R., T. Roper, D. Maynard
False positive brain scans from extracranial contamination with ^{99m}Tc
J. Nuclear Med. 6:524, 1965

120. Wolf, R., J. P. Haas
Die Hirntumorszintigraphie
täg. prax. 11:1, 1970

121. Wolff, J.
Physiol. Rev. 44, 45, 1964 (nach 8)

122. Zeidler, E.
Trefferwahrscheinlichkeit in der Hirnszintigraphie
Inaug. Dissertation, Universität München, 1970

123. Zeidler, U.
Das Hirnszintigramm in der ambulanten Hirngeschwulstdiagnostik
Allgemeinmedizin 46:170, 1970

124. Zingesser, L. H.
The brain
in: Clinical Scintillation Scanning
Hoeber Med. Div., New York, 1969

Mein besonderer Dank gilt Herrn Akad. Oberrat Dr. J. Klemm für die Überlassung des Themas und die großzügige Förderung meiner Arbeit.

Hern Priv.Doz. Dr. J. Eigler danke ich für die Übernahme des Referates, Herrn Prof. Dr. E. Buchborn für die Übernahme des Coreferates.

Lebenslauf

Ich wurde am 21. August 1947 als Tochter des Bau-Ingenieurs Eugen Möhler und seiner Ehefrau Maria, geb. Link, in Augsburg geboren. Von 1953 bis 1957 besuchte ich die Grundschule in Augsburg und trat anschließend in das Neusprachliche Gymnasium der Englischen Fräulein in Augsburg über, wo ich 1966 mein Abitur machte.

Seit dem Wintersemester 1966/67 studierte ich an der Ludwig Maximilians-Universität in München Humanmedizin. Im Frühjahr 1969 legte ich die Ärztliche Vorprüfung ab. Am 15. Juni 1972 beendete ich mein Studium mit dem Staatsexamen.